Ajuste Parcial al Plan de Ordenación y Manejo de la Subzona Hidrográfica del Río Amoyá, Departamento del Tolima

Ibagué – Agosto 2022

AJUSTE

POMCA

RÍO AMOYÁ

Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica

CLIMATOLOGÍA

Corporación de Autónoma Regional del Tolima
CORTOLIMA
NIT. 890.704.536 – 7
Av. Ferrocarril con 44 Esquina
Ibagué, Tolima
Tel: + 57 (8) 2653260 - 2657775

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA – CORTOLIMA

Directora General
Olga Lucia Alfonso Iannini.

Subdirector De Planificación Ambiental y Desarrollo Sostenible
José Alexander Grijalba Castro.

Líder del Grupo de Gestión Integral de Recurso Hídrico
Alexa Giovanna Botero Bernal.

ETAPA 1

EQUIPO TÉCNICO POMCA DEL RÍO AMOYÁ

Coordinador Técnico
Yazmin Zurelly Trujillo López.

Componente Físico-Biótico
John William Gómez Cortázar.
Oscar Giovanni Linares Triviño.
Luisa Fernanda Giraldo.
Luis Eduardo Peña Rojas.
Omar Enrique Peláez.
Arnulfo Alvarez Villalobos.
Ingrid Castaño Pomar.
Alicia Olaya Ospina.

Componente Socio-Económico
Claudia Segura.
Carolina Martínez Pérez.
Alejandra Jiménez Torres.

Consulta Previa
Reinel Ríos García.
Orfilia Mafla Vásquez.
María Romelia Leonel Cruz.

EQUIPO TÉCNICO DE APOYO CORTOLIMA

Ulises Guzmán Quimbayo. Líder Grupo Gestión del Riesgo.
Consuelo Carvajal. Líder del Grupo Ecosistemas Estratégicos.
María Romelia Leonel Cruz – Líder del Grupo de Gestión Integral de Recurso Hídrico.

ETAPA 2

EQUIPO TÉCNICO POMCA DEL RÍO AMOYÁ

Fase Prospectiva y Zonificación Ambiental / Formulación
Carlos Eduardo Mejía.
María Fernanda Lozano Ruiz.
Yazmin Zurelly Trujillo López.
Leidy Katherine Díaz.
Clara Inés Ospina.
Didier Orlando Lizcano Murcia.
Arnulfo Álvarez Villalobos.
Hernán Montealegre Monroy.

Consulta previa
María Alejandra Soto.
Astrid Lorena Reyes Chicué.
Yazmin Zurelly Trujillo López.
Paula Marcela Cortés.

EQUIPO TÉCNICO DE APOYO CORTOLIMA

Edwin Ferney Quintero – Profesional Universitario.

CONTENIDO

1.CLIMATOLOGIA 12
2. INVENTARIO Y CARACTERIZACIÓN DE LA RED METEOROLÓGICA EXISTENTE 13
2.1 ESTACIÓN METEOROLÓGICA 13
2.2 ELEMENTOS CLIMÁTICOS 13
2.3 TIPOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS 14
2.4 ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA AMOYÁ 14
2.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS. 17
3. CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS.19
3.1 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES 19
3.1.1 Selección De Las Estaciones Según Área De Influencia Mediante Polígonos De Thiessen. 19
3.1.2 Selección De Las Estaciones Para El Elemento Climático De Precipitación. 20
3.1.3 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES PARA EL ELEMENTO CLIMÁTICO DE TEMPERATURA. 25
3.2 COMPLEMENTACIÓN DE INFORMACIÓN A NIVEL MENSUAL. 27
3.3 ANÁLISIS DE HOMOGENEIDAD Y CONSISTENCIA 31
3.4 ANÁLISIS DE TENDENCIAS. 41
3.4.1 Análisis De Tendencias De La Precipitación. 41
3.4.2 Análisis De Tendencias Para Temperatura Media. 47
4. IDENTIFICACIÓN DE VARIACIÓN CLIMÁTICA – ENSO 50
4.1 ESCALAS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA 51
4.2 PRESENTACIÓN DE LA ESCALA INTER-ANUAL DEL ENSO, SEGÚN *NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA* 52
4.3 CÁLCULO DE ÍNDICES DE ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN 55
4.3.1 Promedio Mensual Multianual. 55
4.3.2 Índice Puntual (No Acumulado). 58
4.3.3 Índice Acumulado. 61
5. COMPORTAMIENTO ELEMENTOS CLIMATOLÓGICOS. 65
5.1 COMPORTAMIENTO DEL ELEMENTO CLIMÁTICO PRECIPITACIÓN 65

5.1.1 Distribución Temporal Del Elemento Climático Precipitación 66
5.1.2 Distribución Espacial Del Elemento Climático Precipitación. 71
5.2 COMPORTAMIENTO DEL ELEMENTO CLIMÁTICO TEMPERATURA 72
5.2.1 Distribución Temporal Del Elemento Climático Temperatura Media. 74
5.2.2 Distribución Espacial De La Temperatura Media Del Aire 76
5.2.3 Distribución Temporal Del Elemento Climático Temperatura Máxima Media Mensual. 85
5.2.4 Distribución Temporal Del Elemento Climático Temperatura Mínima Media Mensual. 87
5.2.5 Distribución Espacial Del Elemento Climático Temperatura Mínima Media Mensual. 90
5.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL A NIVEL ANUAL Y MENSUAL. 95
5.3.1 Método Empírico Utilizado Para El Cálculo De La Eto 96
5.3.3 Distribución Temporal De La Evapotranspiración. 97
5.3.4 Distribución Espacial De La Evapotranspiración. 97
5.4 HUMEDAD RELATIVA 100
5.5 NUBOSIDAD 102
5.6 PUNTO DE ROCIÓ 104
5.7 TENSIÓN DE VAPOR DE AGUA 106
5.8 RECORRIDO DEL VIENTO 108
6. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA 110
6.1 COEFICIENTE DE CALDAS. 110
6.2 CLASIFICACIÓN DE CALDAS EN LA CUENCA AMOYÁ. 111
6.3 CLASES DE CALDAS. 112
6.4 CLASIFICACIÓN DE CALDAS EN LA CUENCA AMOYÁ. 114
6.5 CLASIFICACIÓN DE CALDAS-LANG EN LA CUENCA AMOYÁ. 116
6.6 CLASIFICACIÓN DE CALDAS-LANG EN LA CUENCA AMOYÁ. 116
7. BIBLIOGRAFÍA 119

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Inventario, caracterización y localización geográfica de la red de registro de precipitación existente en la zona de estudio. 16
Tabla 2. Inventario, caracterización de la red meteorológica existente en la cuenca del río Amoyá. 17
Tabla 3. Red de estaciones por periodo anual de funcionamiento, para el elemento climático precipitación. 21
Tabla 4. Evaluación de estaciones por año/mes de funcionamiento, para el elemento climático precipitación. 23
Tabla 5. Red de estaciones por periodo anual de funcionamiento, para el elemento climático temperatura. 25
Tabla 6. Evaluación de estaciones por año/mes de funcionamiento, para el elemento climático temperatura. 26
Tabla 7. Identificación de Datos Faltantes 28
Tabla 8. Distancias Horizontales entre las estaciones de la cuenca Amoyá. 29
Tabla 9. Distancias Verticales entre las estaciones de la cuenca Amoyá. 30
Tabla 10. Ponderación de criterios para correlacionar las estaciones 30
Tabla 11. Resumen de ecuaciones lineales para la complementación de registros históricos para precipitación. 31
Tabla 12. Relación de valores de pendiente de las líneas de tendencia para cada estación de la cuenca Amoyá 45
Tabla 13. Relación de valores de pendiente de las líneas de tendencia para cada estación de la cuenca Amoyá 47
Tabla 14. Distribución por intensidad de las ocurrencias de los Fenómenos El Niño y La Niña. 55
Tabla 15. Descripción Índice del Promedio mensual multianual. 56
Tabla 16. Descripción Índice Puntual de anomalías. 58
Tabla 17. Descripción Índice de acumulado de anomalías. 62
Tabla 18. Precipitación media mensual multianual, para la red de estaciones de la cuenca Amoyá. 65
Tabla 19. Temperatura media mensual multianual, para la red de estaciones de la cuenca Amoyá. 72
Tabla 20. Ecuaciones para la distribución espacial de la temperatura media. 76
Tabla 21. Característica de las series registradas de Temperatura máxima. 85
Tabla 22. Análisis inter-estacional del elemento climático de Temperatura Máxima 86
Tabla 23. Característica de las series registradas de Temperatura máxima. 87
Tabla 24. Análisis inter-estacional del elemento climático de Temperatura Mínima. 88
Tabla 25. Valores del elemento climático de Temperatura mínima media mensual. 89
Tabla 26. Ecuaciones de gradiente altitudinal para Temperatura mínima media mensual. 93

Tabla 27. Valores de Evapotranspiración Calculados por la Ecuación de Turc, para las estaciones de la Cuenca Amoyá. 97
Tabla 28. Valores de Humedad Relativa para la Cuenca Amoyá 100
Tabla 29. Valores de Nubosidad para la Cuenca Amoyá 102
Tabla 30. Valores de Punto de Roció para la Cuenca Amoyá 104
Tabla 31. Valores de Tensión de vapor de agua para la Cuenca Amoyá 106
Tabla 32. Valores de Recorrido del Viento para la Cuenca Amoyá 108
Tabla 33. Clasificación de Caldas. 110
Tabla 34. Pisos Térmico en la Cuenca del Río Amoyá 111
Tabla 35. Clases Climáticas según el coeficiente de Lang 114
Tabla 36. Clases Climáticas según Lang, en la Cuenca del Río Amoyá 114
Tabla 37. Clasificación Climática según Caldas-Lang. 116
Tabla 38. Clasificación Climática Caldas-Lang, para la Cuenca Amoyá 117

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Estación meteorológica – IDEAM 13
Figura 2. Localización geográfica de estaciones en la zona de proyecto. 18
Figura 3. Análisis de influencia de las estaciones por Thiessen 20
Figura 4. Localización geográfica y polígona de Thiessen de las estaciones climatológicas. 22
Figura 5. Registro de datos históricos en las estaciones de precipitación, para el elemento climático precipitación 25
Figura 6 Registro de datos históricos en las estaciones de precipitación, para el elemento climático temperatura. 27
Figura 7. Coeficiente de correlación R^2 para todas las estaciones de la cuenca de Amoyá. 29
Figura 8. Análisis de dobles masas estación pluviométrica Gaitán.Codigo 22010070..... 32
Figura 9. Análisis de dobles masas estación pluviométrica Roncesvalles. 33
Figura 10. Análisis de dobles masas estación Climatológica ordinaria Demostración la Granja..... 33
Figura 11. Análisis de dobles masas estación Climatológica ordinaria El limón 34
Figura 12. Análisis de dobles masas estación Climatológica principal San Antonio Quintana. **Fuente:** Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018. 34
Figura 13. Análisis de dobles masas estación pluviográfica San José de las Hermosas. 35
Figura 14. Análisis de dobles masas estación pluviométrica Guainí..... 35
Figura 15. Análisis de dobles masas estación pluviométrica El Pando..... 36
Figura 16. Corrección de Homogeneidad por dobles masas para la estación pluviométrica Gaitán..... 37
Figura 17. Corrección de Homogeneidad por dobles masas para la estación pluviométrica Roncesvalles. 37
Figura 18. Corrección de Homogeneidad por dobles masas para la estación pluviográfica San José de las Hermosas. 38
Figura 19. Corrección de Homogeneidad por dobles masas para la estación pluviométrica El Pando. 38
Figura 20 Corrección de Homogeneidad por dobles masas para la estación Climatológica Ordinaria Demostración la granja. 39
Figura 21 Corrección de Homogeneidad por dobles masas para la estación Climatológica Principal San Antonio Quinta. 40
Figura 22. Corrección de Homogeneidad por dobles masas para la estación Climatológica Ordinaria El Limón. 40
Figura 23. Graficas de tendencia de precipitación para la estación Gaitán. 42
Figura 24. Graficas de tendencia de precipitación para la estación Roncesvalles..... 42
Figura 25. Graficas de tendencia de precipitación para la estación San José de las Hermosas. 43
Figura 26. Graficas de tendencia de precipitación para la estación El Pando. 43

Figura 27. Graficas de tendencia de precipitación para la estación Demostración la Granja. 44
Figura 28. Graficas de tendencia de precipitación para la estación San Antonio Quinta. 44
Figura 29. Graficas de tendencia de precipitación para la estación El Limón. 45
Figura 30. Graficas de tendencia de precipitación para la estación Guaní. 45
Figura 31. Graficas de tendencia de precipitación para la red de estaciones de la cuenca Amoyá. 46
Figura 32. Graficas de tendencia de Temperatura media para la estación Granja demostración. 47
Figura 33. Graficas de tendencia de Temperatura media para la estación El Limón. 48
Figura 34. Graficas de tendencia de Temperatura media para la estación San Antonio Quinta. 48
Figura 35. Graficas de tendencia de Temperatura media para la red de estaciones de la cuenca Amoyá. 49
Figura 36. Fenómenos ENSO – El Niño ocurridos entre 1950-2018 53
Figura 37. Fenómenos ENSO -La Niña ocurridos entre 1950-2018 54
Figura 38. Índice Promedio mensual multianual de precipitación para la Cuenca Amoyá (1987-2015) 56
Figura 39. Índice Promedio mensual multianual de temperatura para la Cuenca Amoyá (1978-2012,2017) 57
Figura 40.Índice puntual de anomalías para el elemento precipitación en la cuenca Amoyá. 59
Figura 41. Índice puntual de anomalías para el elemento temperatura en la cuenca Amoyá. 60
Figura 42. Índice acumulado de anomalías para el elemento precipitación en la cuenca Amoyá. 63
Figura 43. Índice acumulado de anomalías para el elemento temperatura en la cuenca Amoyá. 64
Figura 44. Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación pluviométrica Gaitán cod. 22010070 67
Figura 45. Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación pluviométrica Roncesvalles. Cod 22070010. 67
Figura 46. Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación Pluviográfica de San José de las Hermosas. cod 22050060 68
Figura 47 Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación pluviométrica El Pando.cod 22060080. 68
Figura 48. Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación Climatológica Ordinaria Granja Demostración. Cod 22045010 69
Figura 49. Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación Climatológica Principal San Antonio Quinta. Cod. 22065040 69
Figura 50. Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación Climatológica Ordinaria El Limón.cod.22045020 70

Figura 51. Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación pluviométrica Guainí. Cod. 22060110 70
Figura 52. Distribución espacial de la precipitación media anual multianual, para un..... 73
Figura 53. Histograma de Temperatura media mensual a nivel multianual de la estación Climatológica Ordinaria Granja Demostración. cod 22045010 74
Figura 54. Histograma de temperatura media mensual a nivel multianual de la estación Climatológica Ordinaria El Limón. Cod 22045020 75
Figura 55. Histograma de temperatura media mensual a nivel multianual de la estación Climatológica Principal San Antonio Quinta cod 22065040 75
Figura 56 Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de enero en la cuenca Amoyá. 77
Figura 57. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de febrero en la cuenca Amoyá. 77
Figura 58. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de marzo en la cuenca Amoyá. 78
Figura 59. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de abril en la cuenca Amoyá. 78
Figura 60. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de mayo en la cuenca Amoyá. 79
Figura 61. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de junio en la cuenca Amoyá. 79
Figura 62. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de julio en la cuenca Amoyá. 80
Figura 63. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de agosto en la cuenca Amoyá. 80
Figura 64. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de septiembre en la cuenca Amoyá. 81
Figura 65. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de octubre en la cuenca Amoyá. 81
Figura 66. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de noviembre en la cuenca Amoyá. 82
Figura 67. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de diciembre en la cuenca Amoyá. 82
Figura 68. Gradiente de temperatura media, promedio multianual de la cuenca Amoyá. 83
Figura 69. Mapa de temperatura media, promedio multianual de la cuenca Amoyá..... 84
Figura70.Elemento climático de Temperatura mínima mediamensual, para la cuenca Amoyá. 90
Figura 71. Gráficas mensuales del gradiente altitudinal para Temperatura mínima media mensual. 91
Figura 72. Gráfica Anual del gradiente altitudinal para Temperatura mínima media mensual. 93
Figura 73. Mapa de Temperatura mínima media anual multianual. 94

Figura 74. Grafica de Valores de ETR calculados por Turc..... 98
Figura 75. Isolíneas de ETo Calculados por la Ecuación de Turc, para la Cuenca Amoyá. 99
Figura 76. Grafica de Valores de Humedad Relativa para la cuenca Amoyá. 100
Figura 77. Isolíneas de Humedad Relativa para la Cuenca Amoyá..... 101
Figura 78. Grafica de Valores Nubosidad para la cuenca Amoyá. 102
Figura 79. Isolíneas de Nubosidad para la Cuenca Amoyá..... 103
Figura 80. Grafica de Valores Punto de Rocío para la cuenca Amoyá. 104
Figura 81. Isolíneas de Punto de Rocío para la Cuenca Amoyá..... 105
Figura 82. Grafica de Valores de Tensión de vapor de agua para la cuenca Amoyá. ... 106
Figura 83. Isolíneas de Tensión de vapor de agua para la Cuenca Amoyá..... 107
Figura 84. Grafica de Valores de Recorrido del Viento para la cuenca Amoyá. 108
Figura 85. Análisis local para la estación Aeropuerto Planadas, Tolima..... 109
Figura 86. Mapa de Pisos Térmico en la Cuenca del Río Amoyá..... 113
Figura 87. Mapa de las Clases Climáticas según Lang, en la Cuenca del Río Amoyá .. 115
Figura 88. Mapa de Clasificación Climática según Caldas-Lang, en la Cuenca del Río Amoyá 118

1. CLIMATOLOGIA

La Climatología es la parte de la Meteorología que se ocupa de los fenómenos del clima en los diferentes lugares de la Tierra, utiliza las herramientas de la ~~s~~ estadística para establecer su comportamiento por zonas, de acuerdo a las variaciones que se han presentado en el tiempo, determinando los valores centrales, particularmente la Media o Promedio de las diferentes variables meteorológicas con las cuales se pueden clasificar los Climas.

Para la correcta realización de los procesos de planificación, es fundamental el conocimiento de su Clima, ya que el análisis de los diferentes elementos que lo componen se puede distinguir, por ejemplo, cuáles son los meses más calurosos o los más fríos, en que regiones se presentan las mayores precipitaciones, o por lo contrario se presentan los periodos de sequía, así como también cuales han sido los fenómenos extremos más representativos. Esta información se constituye en un insumo invaluable al momento de realizar la ordenación ambiental del territorio, de acuerdo a las potencialidades y debilidades que se determinen.

En la guía técnica para la “Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas”, se establece que es necesario la realización del inventario y caracterización climática presente en la cuenca hidrográfica, donde se tengan en cuenta elementos como: temperatura, precipitación, humedad relativa, brillo solar, isoyetas e isotermas, entre otros. Aspecto que se incorporó en el proceso de “Ajuste parcial al Plan de Ordenación y Manejo de la subzona hidrográfica del Río Amoyá”

2. INVENTARIO Y CARACTERIZACIÓN DE LA RED METEOROLÓGICA EXISTENTE

En este ítem se describen los aspectos generales de la red de estaciones utilizada para la obtención de la información climatológica de la cuenca.

2.1 ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Una estación meteorológica es el lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico. Entre los datos registrados encontramos precipitación, temperatura, evapotranspiración, dirección y velocidad del viento, brillo solar, entre otros (**Figura 1**)

Figura 1 Estación meteorológica – IDEAM

Fuente: IDEAM, 2018.

2.2 ELEMENTOS CLIMÁTICOS

Estos elementos permiten describir los parámetros atmosféricos en un lugar dado durante un determinado período de tiempo (OMM, 2011). El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, registra los siguientes Elementos Climáticos:

a. Precipitaciones totales (mm)
b. Precipitación No. Días
c. Precipitación máx. 24/horas

d. Temperatura media (ºc)
e. Temperatura máxima (ºc)
f. Temperatura mínima (ºc)
g. Temperatura media mínima (ºc)
h. Temperatura media máxima(ºc)
i. Temperatura bulbo húmedo (ºc)
j. Humedad relativa (%)
k. Evaporación (mm)
l. Brillo solar (horas)
m. Nubosidad (actas)
n. Tensión de vapor
o. Velocidad – dirección viento (v) (m/s) v/d
p. Vientos máximos (velocidad y dirección)
q. Vientos medios (m/s)
r. Recorrido del viento (km)
s. Punto de rocío (%)

2.3 TIPOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Existen numerosos tipos de estaciones meteorológicas, según la tecnología empleada, la instrumentación disponible, los parámetros meteorológicos medidos o la finalidad. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, cuenta con los siguientes tipos de estaciones:

- Estaciones Agrometeorológica – AM
- Estaciones Climatológica Ordinaria – CO
- Estaciones Climatológica Principal – CP
- Estaciones Meteorológica Especial – ME
- Estaciones Pluviográficas – PG
- Estaciones Pluviométricas – PM
- Estaciones Sinóptica Principal – SP
- Estaciones Sinóptica Secundaria – SS

2.4 ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA AMOYÁ

La red de estaciones meteorológicas del IDEAM, en la cuenca del Río Amoyá está conformada por tres tipos de estaciones: Pluviométrica, Climatológica ordinaria y Climatológica Principal. Cada una de estas estaciones aportó la información meteorológica registrada; entre estos datos encontramos: precipitación diaria y

mensual, precipitación máxima en 24 horas, evaporación diaria y mensual, temperaturas media, máxima y mínima mensual, humedad relativa media mensual, brillo solar total mensual, velocidad media mensual.

En la **Tabla 1**, se presentan las estaciones seleccionadas en el área de influencia de la cuenca en estudio, las cuales son útiles para el análisis requerido para los componentes climáticos del Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca hidrográfica del Río Amoyá.

Para el análisis de precipitación de la cuenca del rio Amoyá, se ubicaron 8 estaciones útiles sobre la zona de proyecto para el desarrollo del presente estudio, equipadas con instrumentos que registran información pluviométrica o pluviográfica, localizadas en la cuenca y en sus alrededores. En la **Tabla 1** se muestran las estaciones con registros de precipitación, indicando su código, municipio, corriente, elevación y coordenadas.

Tabla 1. Inventario, caracterización y localización geográfica de la red de registro de precipitación existente en la zona de estudio.

No.	Código	Nombre	Categoría	Dpto.	Mpio.	Corriente	Altitud	Latitud	Longitud	Fecha Instalación
1	22045020	LIMÓN EL	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA	TOLIMA	CHAPARRAL	QDA DE IRCO	1.030,0	3,651833	-75,584194	15/10/1986
2	22060110	GUAINÍ	PLUVIOMÉTRICA	TOLIMA	CHAPARRAL	QDA GUANÍ	746,0	3,717722	-75,423556	15/11/1986
3	22070010	RONCESVALLES	PLUVIOMÉTRICA	TOLIMA	RONCES-VALLES	CUCUANA	2.581,0	4,006639	-75,607750	15/07/1962
4	22010070	GAITÁN	PLUVIOMÉTRICA	TOLIMA	RIOBLANCO	ANAMICHU	1.568,0	3,576806	-75,742611	15/11/1980
5	22045010	DEMOSTRACIÓN GJA	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA	TOLIMA	CHAPARRAL	AMOYÁ	908,0	3,722444	-75,503444	15/09/1964
6	22060080	PANDO EL	PLUVIOMÉTRICA	TOLIMA	CHAPARRAL	AMOYÁ	976,0	3,766389	-75,548556	15/07/1973
7	22050060	SAN JOSÉ D HERMOSA	PLUVIOGRÁFICA	TOLIMA	CHAPARRAL	AMOYÁ	2.015,0	3,903528	-75,693167	15/03/1973
8	22065040	SAN ANTONIO QUINTA	CLIMATOLÓGICA PRINCIPAL	TOLIMA	SAN ANTONIO	TETUÁN	1.448,0	3,906917	-75,488083	15/12/1971

Fuente: IDEAM, 2018.

2.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS.

Para el análisis de climatología de la cuenca del río Amoyá, se trabajó con 8 estaciones útiles, las cuales son 4 Pluviométricas -PM, 1 Pluvigráfica - PG, 2 Climatológicas ordinaria – CO, y 1 Climatológicas principal - CP. En la **Tabla 2** se muestran las estaciones seleccionadas, indicando los elementos climáticos que registran.

Tabla 2. Inventario, caracterización de la red meteorológica existente en la cuenca del río Amoyá.

No.	Código	Nombre	Categoría	Elementos Climáticos
1	22045020	Limón El	Climatológica Ordinaria	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 18, 19
2	22060110	Guainí	Pluviométrica	1, 2
3	22070010	Roncesvalles	Pluviométrica	1, 2
4	22010070	Gaitán	Pluviométrica	1, 2
5	22045010	Demostración Gja	Climatológica Ordinaria	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 18, 19
6	22060080	Pando El	Pluviométrica	1, 2
7	22050060	San José D Hermosa	Pluviográfica	1, 2, 3
8	22065040	San Antonio Quinta	Climatológica Principal	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19

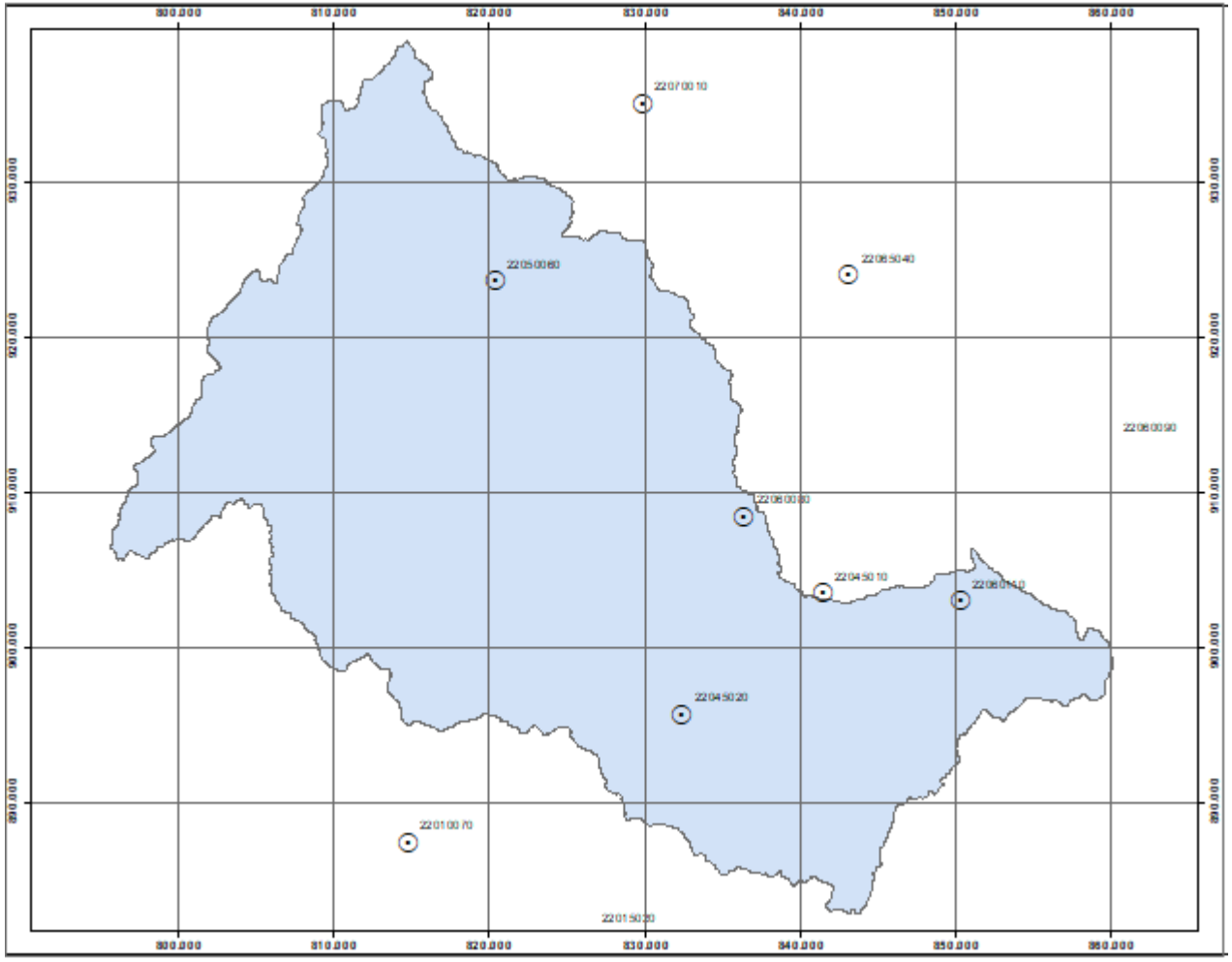
Descripción:

1. Precipitación totales (mm)
2. Precipitación no. Días
3. Precipitación máx. 24/horas
4. Temperatura media (ºc)
5. Temperatura máxima (ºc)
6. Temperatura mínima (ºc)
7. Temperatura media mínima (ºc)
8. Temperatura media máxima(ºc)
9. Temperatura bulbo húmedo (ºc)
10. Humedad relativa (%)
11. Evaporación (mm)
12. Brillo solar (horas)
13. Nubosidad (octas)
14. Tensión de vapor
15. Veloc. – dirección viento (v) (m/s) v/d
16. Vientos máximos (veloc. Y dirección)
17. Vientos medios (m/s)
18. Recorrido del viento (km)
19. Punto de rocío (%)

Fuente: IDEAM, 2018.

A continuación, en la **Figura 2**, se muestra la ubicación de las estaciones pluviométricas, pluviográficas y climatológicas con influencia en la zona de estudio.

Figura 2. Localización geográfica de estaciones en la zona de proyecto.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

3. CARACTERIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICA

Una vez seleccionadas las estaciones a utilizar y conociendo la instrumentación de cada una, se procede a la recopilación de los diferentes tipos de datos. Esta información, a pesar de ser suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, es necesario examinarla en cuanto a la calidad de la información existente. Por esta razón se debe revisar que las series de datos sean continuas, suficientes y homogéneas.

La precipitación constituye la principal entrada de agua dentro del Ciclo Hidrológico, y varía tanto espacial como temporalmente en una cuenca, por lo cual es considerada como el parámetro determinante en la regulación, dinámica y generación del recurso hídrico (UNESCO, 2006). La precipitación es el evento que permite la recarga de los acuíferos, la escorrentía superficial y la evaporación, permitiendo el desarrollo de plantas y animales.

3.1 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES

El proceso de la selección de estaciones se realizó a partir de tres criterios a saber:

- Polígonos de Thiessen
- Periodo de registro y tipo de estación
- Complementación de información a nivel mensual

Selección De Las Estaciones Según Área De Influencia Mediante Polígonos De Thiessen.

El método de los polígonos de Thiessen consiste en delimitar áreas de influencia (unidades discretas) a partir de un conjunto de puntos. El tamaño y la configuración de los polígonos es una construcción geométrica que permite elaborar una partición del plano euclídeo y depende de la distribución de los puntos originales. Estos polígonos son uno de los métodos de interpolación más simples, basado en la distancia euclidiana, siendo especialmente apropiada cuando los datos son cualitativos.

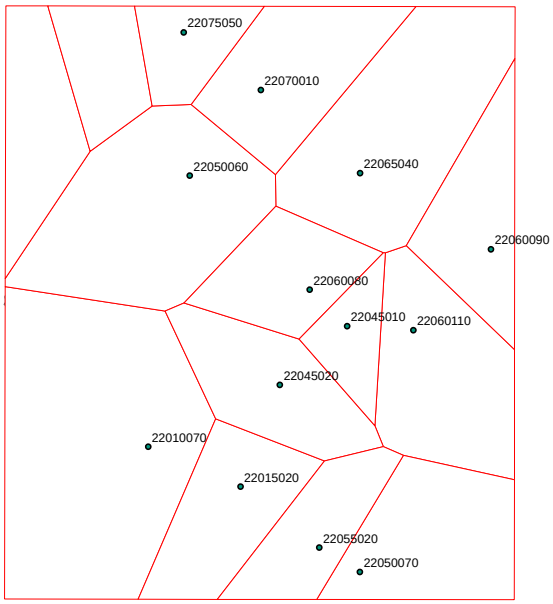
Para este análisis se tomará un total de 13 estaciones ubicadas dentro de un área de influencia de 15.000 m^2 dentro del perímetro de la cuenca. Teniendo en cuenta las particiones euclidianas de Thiessen se determinó que solo 8 estaciones tienen

influencia directa en el área de la cuenca, (**Tabla 1**), la representación visual se presenta en la **Figura 3.** Análisis de influencia de las estaciones por Thiessen, y **Figura 4.** Localización geográfica y polígona de Thiessen de las estaciones climatológicas.

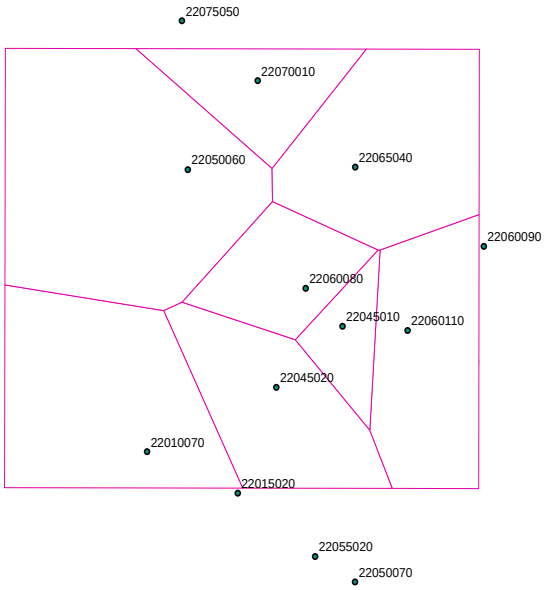
3.1.1 Selección De Las Estaciones Para El Elemento Climático De Precipitación.

Para el segundo criterio, se evaluaron las estaciones por número de años registrando parámetros climáticos (Tabla 3), posteriormente se evaluó la consistencia mes a mes por año de registro (Tabla 4), cuando en un año se registraron 4 o más meses sin datos, el año recibió una calificación negativa " – ", de lo contrario se obtuvo una evaluación positiva " + ".

Figura 3. Análisis de influencia de las estaciones por Thiessen



Estaciones Totales en un área de influencia de 15.000 m.



Estaciones con influencia directa en la cuenca.

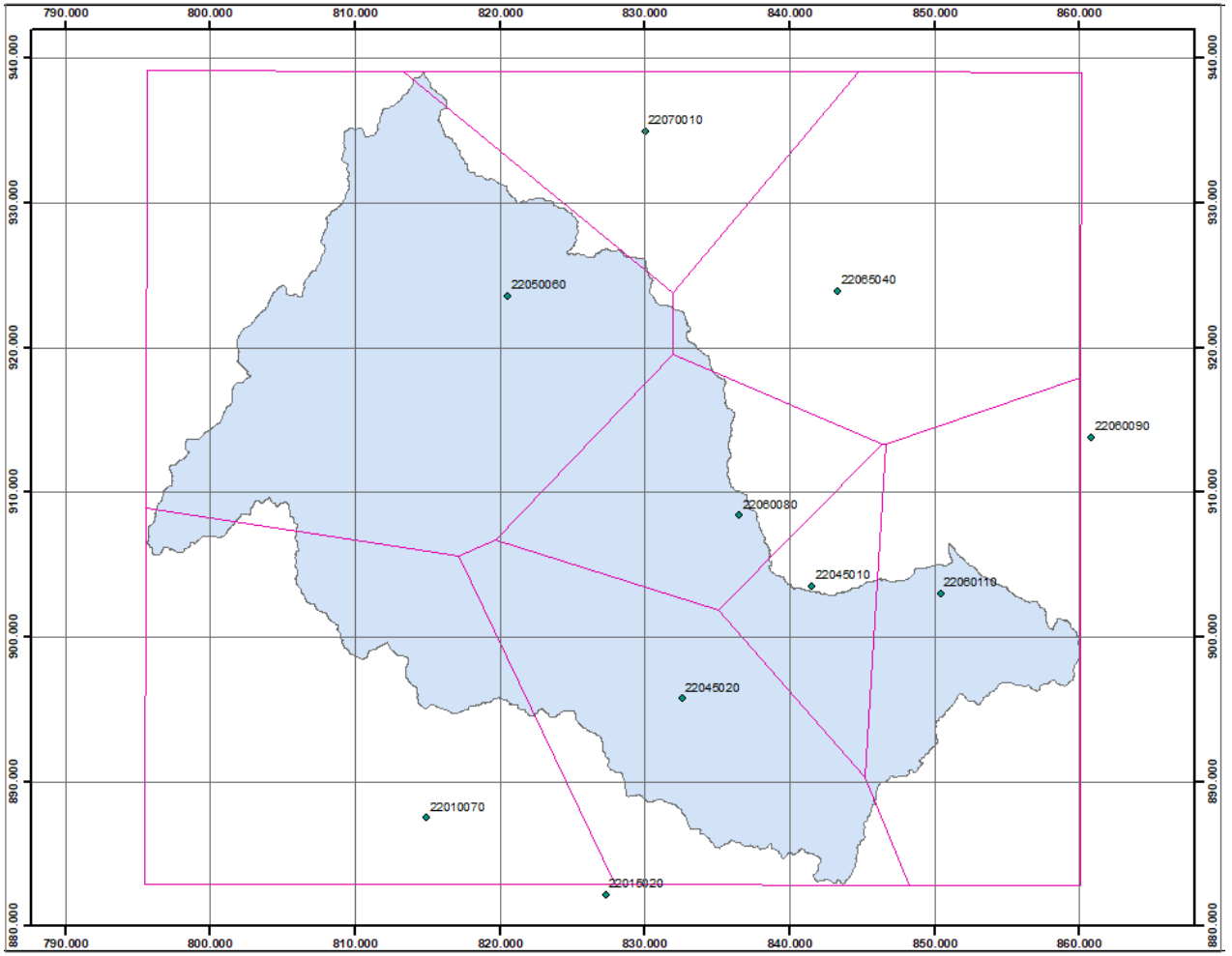
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Tabla 3. Red de estaciones por periodo anual de funcionamiento, para el elemento climático precipitación.

Código	Estación	A.S.N.M.	Año Inicio	Año Final	Años Periodo	Años Sin Información	Total De Años Con Información
22010070	Gaitán	1.990	1981	2017	37	7	30
22070010	Roncesvalles	2.468	1962	2017	56	2	54
22045010	Demostración Gja	1.040	1964	2017	54	3	51
22045020	Limón El	1.000	1987	2017	31	4	27
22065040	San Antonio Quinta	1.500	1971	2017	47	2	45
22050060	San José D Hermosa	2.490	1977	2017	41	9	32
22060110	Guainí	780	1987	2017	31	0	31
22060080	Pando El	900	1973	2017	45	4	41

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 4. Localización geográfica y polígona de Thiessen de las estaciones climatológicas.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Tabla 4. Evaluación de estaciones por año/mes de funcionamiento, para el elemento climático precipitación.

Código	22010070		22070010		22045010		22045020		22065040		22050060		22060110		22060080	
Estación	Gaitán		Roncesvalles		Demostración granja		Limón El		San Antonio Quinta		San José de las Hermosa		Guainí		Pando El	
a.s.n.m.	1990		2468		1040		1000		1500		2490		780		900	
Año	**MSD**	**Ev**	**MSD**	**Ev**	**MSD**	**Ev**	**MSD**	**Ev**	**MSD**	**Ev**	**MSD**	**Ev**	**MSD**	**Ev**	**MSD**	**Ev**
1962			6	-	0											
1963			0	+	0											
1964			0	+	9	-										
1965			0	+	0	+										
1966			0	+	0	+										
1967			0	+	3	+										
1968			0	+	1	+										
1969			0	+	0	+										
1970			0	+	0	+										
1971			0	+	0	+				-						
1972			0	+	0	+			0	+						
1973			1	+	0	+			0	+						-
1974			0	+	0	+			0	+					0	+
1975			0	+	0	+			0	+					0	+
1976			0	+	0	+			0	+					0	+
1977			0	+	0	+			0	+		-			0	+
1978			0	+	0	+			0	+		-			0	+
1979			0	+	0	+			0	+		-			0	+
1980			0	+	0	+			0	+		-			0	+
1981	11	-	0	+	0	+			0	+		-			0	+
1982	11	-	0	+	0	+			0	+		-			0	+
1983	0	+	0	+	0	+			0	+		-			0	+
1984	2	+	0	+	0	+			0	+	0	+			0	+
1985	0	+	0	+	0	+			0	+	0	+			1	+
1986	0	+	0	+	0	+			0	+	0	+			0	+
1987	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	2	+	1	+
1988	1	+	0	+	0	+	1	+	0	+	0	+	0	+	0	+
1989	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
1990	1	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
1991	1	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
1992	1	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
1993	1	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
1994	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	4	-

Código	22010070		22070010		22045010		22045020		22065040		22050060		22060110		22060080	
Estación	Gaitán		Roncesvalles		Demostración granja		Limón El		San Antonio Quinta		San José de las Hermosa		Guainí		Pando El	
a.s.n.m.	1990		2468		1040		1000		1500		2490		780		900	
Año	MSD	Ev	MSD	Ev	MSD	Ev	MSD	Ev	MSD	Ev	MSD	Ev	MSD	Ev	MSD	Ev
1995	1	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	2	+
1996	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
1997	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
1998	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
1999	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
2000	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
2001	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
2002	1	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
2003	1	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
2004	1	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
2005	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
2006	5	-	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
2007	11	-	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
2008	10	-	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
2009	12	-	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+	1	+
2010	1	+	0	+	0	+	12	-	0	+	3	+	0	+	0	+
2011	0	+	0	+	0	+	11	-	0	+	0	+	0	+	0	+
2012	7	-	0	+	0	+	12	-	0	+	10	-	0	+	0	+
2013	1	+	0	+	0	+	7	-	0	+	0	+	0	+	3	+
2014	0	+	0	+	0	+	2	+	0	+	0	+	0	+	8	-
2015	3	+	2	+	1	+	2	+	3	+	3	+	1	+	6	-
2016	3	+	4	-	5	-	3	+	5	-	3	+	3	+	3	+
2017	3	+	1	+	6	-	2	+	3	+	4	-	2	+	1	+

MSD: Numero de meses sin datos
Ev: Evaluación del año
\+ Año aceptado
\- Año rechazado

Posteriormente a la evaluación, se analizó la consistencia anual de registros a nivel de series continuas de información, por medio de la **Figura 5**.

Figura 5. Registro de datos históricos en las estaciones de precipitación, para el elemento climático precipitación

Codigo	Estación	a.s.n.m.	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
22010070	GAITAN	1990																															
22070010	RONCESVALLES	2468																															
22045010	DEMOSTRACION GJA	1040																															
22045020	LIMON EL	1000																															
22065040	SAN ANTONIO QUINTA	1500																															
22050060	SAN JOSE D HERMOSA	2490																															
22060110	GUAINI	780																															
22060080	PANDO EL	900																															

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Una vez revisado el periodo de registro de cada una de las estaciones y teniendo en cuenta que el periodo de registro de análisis fue desde el año de 1987 a 2015 para el elemento de precipitación, se mantuvieron las 8 estaciones (**Tabla 1**), con un periodo de 29 años.

3.1.2 Selección De Las Estaciones Para El Elemento Climático De Temperatura.

Para las estaciones climatológicas medidoras de temperatura, se seleccionó un periodo de registro diferente al de precipitación, dado que, el registro histórico entre precipitación y temperatura es diferente, de modo que, dicho lapso de tiempo se seleccionó desde 1987 hasta el año 2012. En la Tabla 5, se presenta las estaciones utilizadas para el análisis de este elemento climático, en la Tabla 6, el proceso de evaluación, y en la Figura 6, la representación visual de la evaluación.

Tabla 5. Red de estaciones por periodo anual de funcionamiento, para el elemento climático temperatura.

Código	Estación	A.S.N.M.	Año Inicio	Año Final	Total De Años	Años Sin Información
22045010	Demostración Gja	1040	1978	2017	40	5
22045020	El LIMÓN	1000	1987	2017	31	7
22065040	San Antonio Quinta	1500	1971	2017	47	5

Fuente: CORTOLIMA, 2018

Tabla 6. Evaluación de estaciones por año/mes de funcionamiento, para el elemento climático temperatura.

Código	22045010		22045020		22065040	
Estación	DEMOSTRACIÓN GJA		LIMÓN EL		SAN ANTONIO QUINTA	
a.s.n.m.	1040		1000		1500	
Año	**MSD**	**Ev**	**MSD**	**Ev**	**MSD**	**Ev**
1971					11	-
1972					0	+
1973					0	+
1974					0	+
1975					0	+
1976					0	+
1977					0	+
1978	0	+			0	+
1979	0	+			0	+
1980	0	+			0	+
1981	0	+			0	+
1982	0	+			0	+
1983	0	+			0	+
1984	0	+			0	+
1985	0	+			0	+
1986	0	+			0	+
1987	0	+	0	+	0	+
1988	0	+	3	+	0	+
1989	0	+	0	+	0	+
1990	0	+	0	+	0	+
1991	0	+	0	+	0	+
1992	0	+	0	+	0	+
1993	0	+	0	+	0	+
1994	0	+	0	+	0	+
1995	0	+	6	-	0	+
1996	0	+	2	+	0	+
1997	0	+	0	+	0	+
1998	0	+	0	+	0	+
1999	0	+	0	+	0	+
2000	0	+	0	+	0	+
2001	0	+	0	+	0	+
2002	0	+	0	+	0	+
2003	0	+	0	+	0	+
2004	1	+	0	+	0	+

Código	22045010		22045020		22065040	
Estación	DEMOSTRACIÓN GJA		LIMÓN EL		SAN ANTONIO QUINTA	
a.s.n.m.	1040		1000		1500	
Año	MSD	Ev	MSD	Ev	MSD	Ev
2005	0	+	0	+	0	+
2006	0	+	0	+	0	+
2007	0	+	0	+	0	+
2008	0	+	0	+	0	+
2009	0	+	0	+	0	+
2010	0	+	12	-	0	+
2011	0	+	11	-	0	+
2012	0	+	8	-	0	+
2013	11	-	12	-	11	-
2014	12	-	12	-	12	-
2015	12	-	12	-	12	-
2016	6	-	3	+	6	-
2017	6	-	2	+	3	+

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 6 Registro de datos históricos en las estaciones climatológicas, para el parámetro temperatura.

Codigo	Estación	a.s.n.m.	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
22045010	DEMOSTRACION GJA	1040																															
22045020	LIMON EL	1000																															
22065040	SAN ANTONIO QUINTA	1500																															

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

3.2 COMPLEMENTACIÓN DE INFORMACIÓN A NIVEL MENSUAL.

Para determinar los valores mensuales faltantes en las estaciones seleccionadas para el análisis de precipitación de la cuenca del río Amoyá, se utilizó la técnica de Doble Masa. Para la utilización del método de doble masa se parte del supuesto que la cuenca es una zona meteorológica homogénea, por lo tanto, los valores de precipitación que ocurren en diferentes lugares de la cuenca en períodos anuales o estacionales, tienen una relación de proporcionalidad que puede representarse estadística y gráficamente.

El proceso inicia al identificar los datos faltantes en las estaciones seleccionadas (Tabla 1), como se presenta en la Tabla 7, posteriormente se realizó la correlación y a continuación se complementaron las estaciones, iniciando por meses y continuando por años.

Tabla 7. Identificación de Datos Faltantes

Código	Estación	A.S.N.M.	Datos esperados	Datos Existentes	Datos Faltantes	% Faltantes
22010070	Gaitán	1.990	348	289	59	20,42
22070010	Roncesvalles	2.468	348	346	2	0,58
22045010	Demostración Gja	1.040	348	347	1	0,29
22045020	Limón El	1.000	348	301	47	15,61
22065040	San Antonio Quinta	1.500	348	345	3	0,87
22050060	San José D Hermosa	2.490	348	332	16	4,82
22060110	Guainí	780	348	345	3	0,87
22060080	Pando El	900	348	323	25	7,74

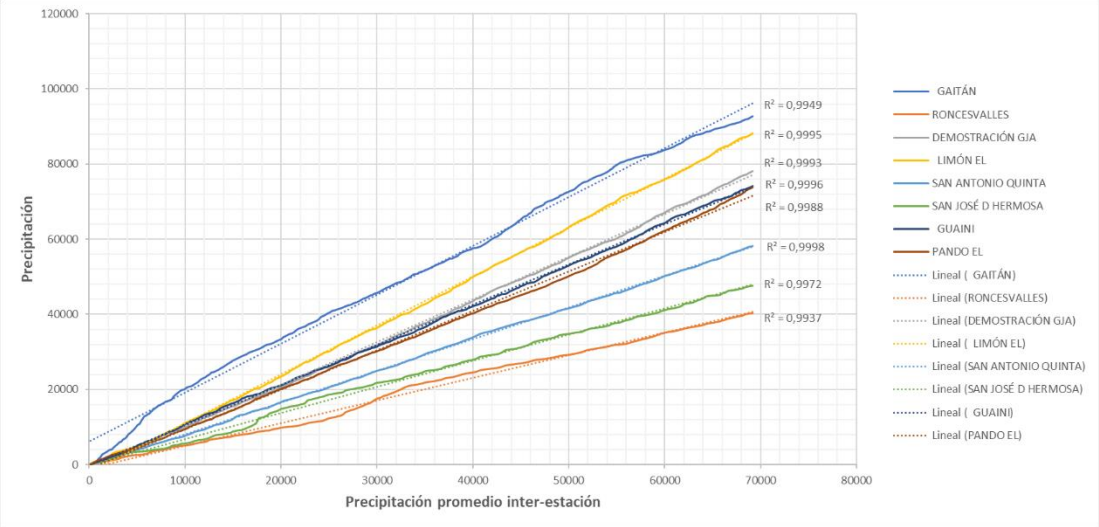
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Posterior a esto se aplicaron los dos criterios clásicos para correlacionar las estaciones: i) El primer criterio, se define por la cercanía espacial de las estaciones en los ejes X y Y, es decir, se realizó la correlación de la estación que tenía datos faltantes con las estaciones más cercanas. ii) El segundo criterio, se define por la similitud altitudinal eje Z, es decir, se realizó la correlación de la estación que tenía datos faltantes con las estaciones que tuvieran altura similar.

Este proceso se basa sobre una ecuación lineal empírica, la cual se calcula entre las estaciones de interés, en el eje X se ubica la estación guía o principal, y en el eje Y se ubica la estación que presenta los datos faltantes. Una vez graficada la curva, y obtenida la ecuación de regresión, se obtiene los valores de R^2. Se utilizan las ecuaciones que presentan mejor coeficiente de correlación para completar los datos faltantes.

Para la selección de la estación guía se realizaron las gráficas de los datos acumulados de todas las estaciones versus el promedio acumulado inter-estación, donde se obtuvo que la estación que presenta mejor ajuste presenta es San Antonio Quinta (Código 22065040), con un coeficiente de correlación R^2 de 0,9998 (**Figura 7**).

Figura 7. Coeficiente de correlación R^2 para todas las estaciones de la cuenca de Amoyá.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

En la Tabla 8, se presentan las distancias horizontales entre las estaciones de la cuenca (resultante de las distancias en los ejes X y Y), y en la Tabla 9, se presentan las distancias verticales (eje Z). Finalmente, la ponderación de los dos criterios se muestra en la Tabla 10.

Tabla 8. Distancias Horizontales entre las estaciones de la cuenca Amoyá.

Código	Estación	Gaitán	Ronces Valles	Demost racion Gja	Limón El	San Antonio Quinta	San José D Hermosa	Guainí	Pando El
22010070	Gaitán		49.849	31.082	19.462	46.186	36.556	38.727	30.079
22070010	Roncesvalles	49.849		33.509	39.335	17.276	14.836	37.948	27.372
22045010	Demostración Gja	31.082	33.509		11.900	20.479	29.088	8.883	6.994
22045020	Limón El	19.462	39.335	11.900		30.171	30.364	19.278	13.280
22065040	San Antonio Quinta	46.186	17.276	20.479	30.171		22.790	22.121	16.933
22050060	San José D Hermosa	36.556	14.836	29.088	30.364	22.790		36.328	22.094
22060110	Guainí	38.727	37.948	8.883	19.278	22.121	36.328		14.898
22060080	Pando El	30.079	27.372	6.994	13.280	16.933	22.094	14.898	

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Tabla 9. Distancias Verticales entre las estaciones de la cuenca Amoyá.

Código	Estación	Gaitán	Ronces Valles	Demostracion Gja	Limón El	San Antonio Quinta	San José D Hermosa	Guainí	Pando El
22010070	Gaitán		478	950	990	490	500	1.210	1.090
22070010	Roncesvalles	478		1.428	1.468	968	22	1.688	1.568
22045010	Demostración Gja	950	1.428		40	460	1.450	260	140
22045020	Limón El	990	1.468	40		500	1.490	220	100
22065040	San Antonio Quinta	490	968	460	500		990	720	600
22050060	San José D Hermosa	500	22	1.450	1.490	990		1.710	1.590
22060110	Guainí	1.210	1.688	260	220	720	1.710		120
22060080	Pando El	1.090	1.568	140	100	600	1.590	120	

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Tabla 10. Ponderación de criterios para correlacionar las estaciones

Código	Estación	Gaitán	Ronces Valles	Demostracion Gja	Limón El	San Antonio Quinta	San José D Hermosa	Guainí	Pando El
22010070	Gaitán		4	2	1	4	2	7	4
22070010	Roncesvalles	4		3	6	2	1	7	4
22045010	Demostración Gja	5	7		2	4	6	3	1
22045020	Limón El	4	6	1		4	6	3	2
22065040	San Antonio Quinta	4	3	1	4		7	4	2
22050060	San José D Hermosa	5	1*	3	6	2*		7	3
22060110	Guainí	5	5	2	3	4	5		1
22060080	Pando El	5	5	2	1	4	5	3	

* No se trabajó con la estación más cercana por que se generaría una referencia circular.

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Tabla 11. Resumen de ecuaciones lineales para la complementación de registros históricos para precipitación.

Id	Estación (X)	Estación (Y)	Coeficiente De Correlación "R²"	Coeficiente De Correlación "R"	Ecuación
1	22045020 Limón El	22010070 Gaitán	0,9926	0,9963	y = 0,9979x + 8267,9
2	22050060 San José D Hermosa	22070010 Roncesvalles	0,9903	0,9951	y = 0,8637x - 799,38
3	22060080 Pando El	22045010 Demostración Gja	0,9994	0,9997	y = 1,0792x - 225,12
4	22045010 Demostración Gja	22045020 Limón El	0,9995	0,9997	y = 1,1472x - 361,16
5	22045010 Demostración Gja	22065040 San Antonio Quinta	0,9992	0,9996	y = 0,7424x + 747,65
6	22065040 San Antonio Quinta	22050060 San José D Hermosa	0,9974	0,9987	y = 0,8266x + 121,59
7	22060080 Pando El	22060110 Guainí	0,9992	0,9996	y = 1,0178x + 872,2
8	22045020 Limón El	22060080 Pando El	0,9989	0,9994	y = 0,8068x + 538,93

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

3.3 ANÁLISIS DE HOMOGENEIDAD Y CONSISTENCIA

En el análisis de dobles masas, se evalúa la pendiente de la recta y en caso que la pendiente de la recta no cambie a lo largo de la serie de datos, se considera que la estación es homogénea en sus datos. En el caso que la pendiente cambie, se considera que la estación no es homogénea en sus datos, y es necesario ajustar los datos.

3.3.1 Análisis De Homogeneidad Y Consistencia De Precipitación.

Se realizó el análisis de homogeneidad y consistencia de los datos, con el elemento climático de precipitación total, este análisis tiene el objeto de determinar si se presentan anomalías en las mediciones de las estaciones, en el periodo de registro establecido. Para este procedimiento se utilizó el análisis de dobles masas.

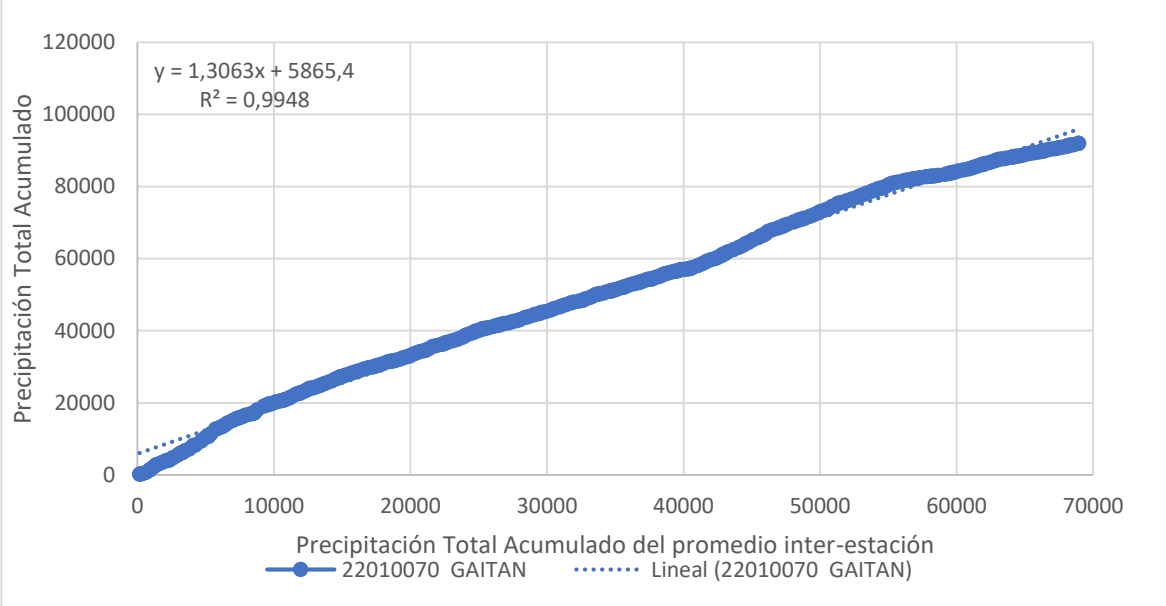
El análisis de doble masa se realizó a las 8 estaciones del área de estudio (Tabla 1), generándose las gráficas respectivas (Figuras 8 a 15), de las cuales tres estaciones de tipo superior obtuvieron resultados homogéneos, igual que una estación pluviométrica, las cuales se describen a continuación:

- Estación Climatológica ordinaria Demostración la Granja
- Estación Climatológica principal San Antonio Quintana.

- Estación Climatológica ordinaria El limón.
- Estación pluviométrica Guainí.

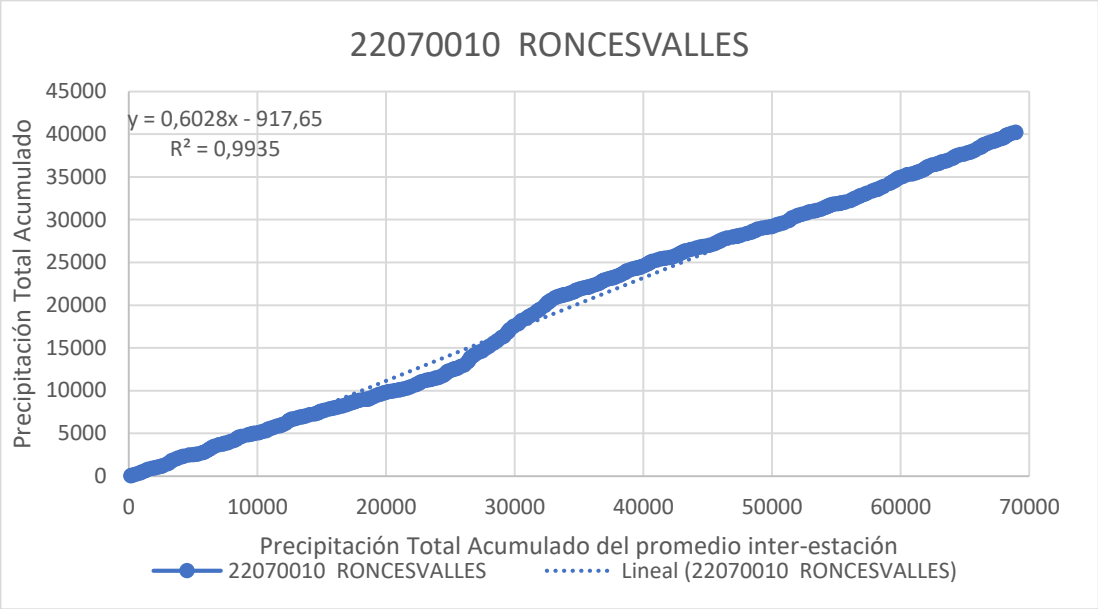
Las restantes cuatro estaciones presentaron datos no homogéneos (Ver Ilustraciones 8, 9, 13 y 15), lo cual se puede presentar por un cambio en las condiciones del aparato registrador, cambio de lugar de la estación, o modificaciones en el método de obtención de los datos. Por lo cual es necesario llegar a una corrección de datos debido a la importancia de una red de estaciones para calcular el elemento climático de Precipitación.

Figura 8. Análisis de dobles masas estación pluviométrica Gaitán. Código 22010070



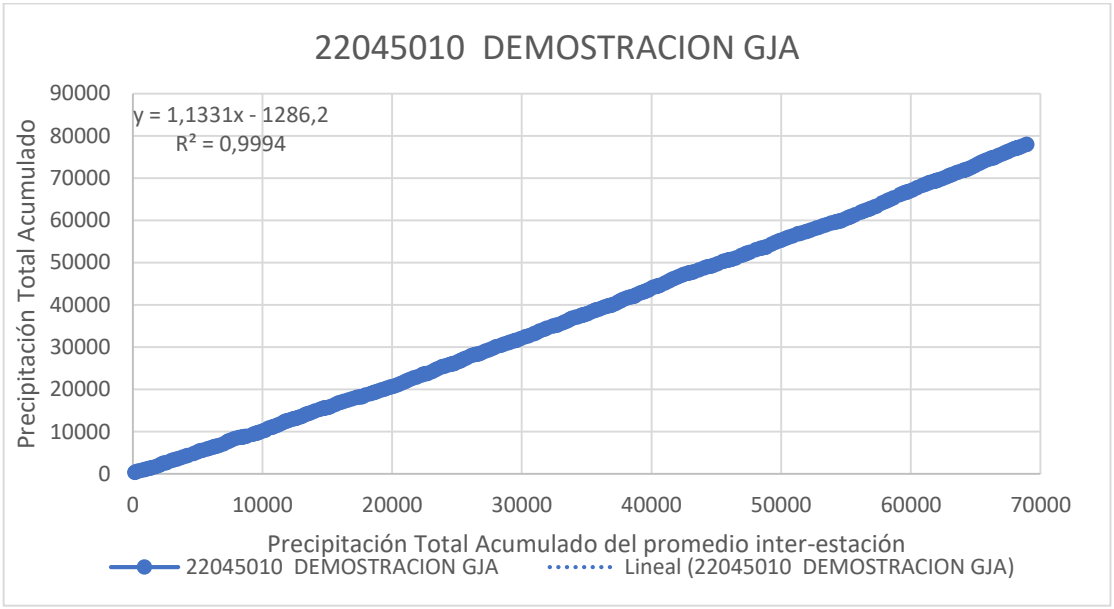
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 9. Análisis de doble masa estación pluviométrica Roncesvalles.



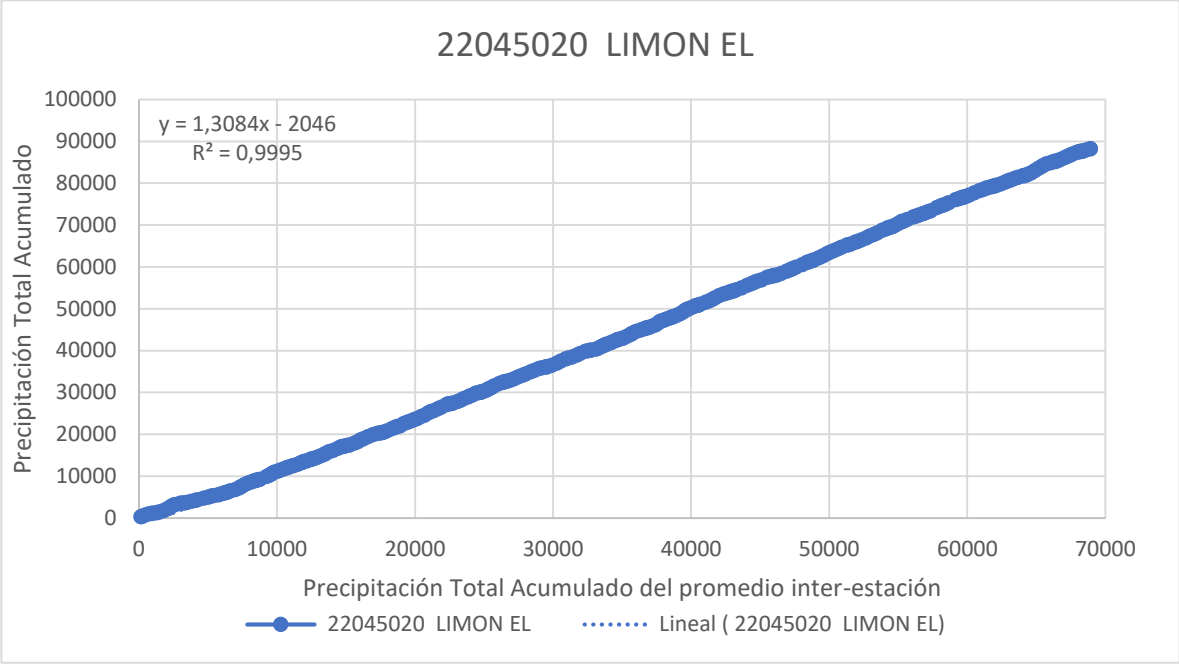
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 10. Análisis de doble masa estación Climatológica ordinaria Demostración la Granja



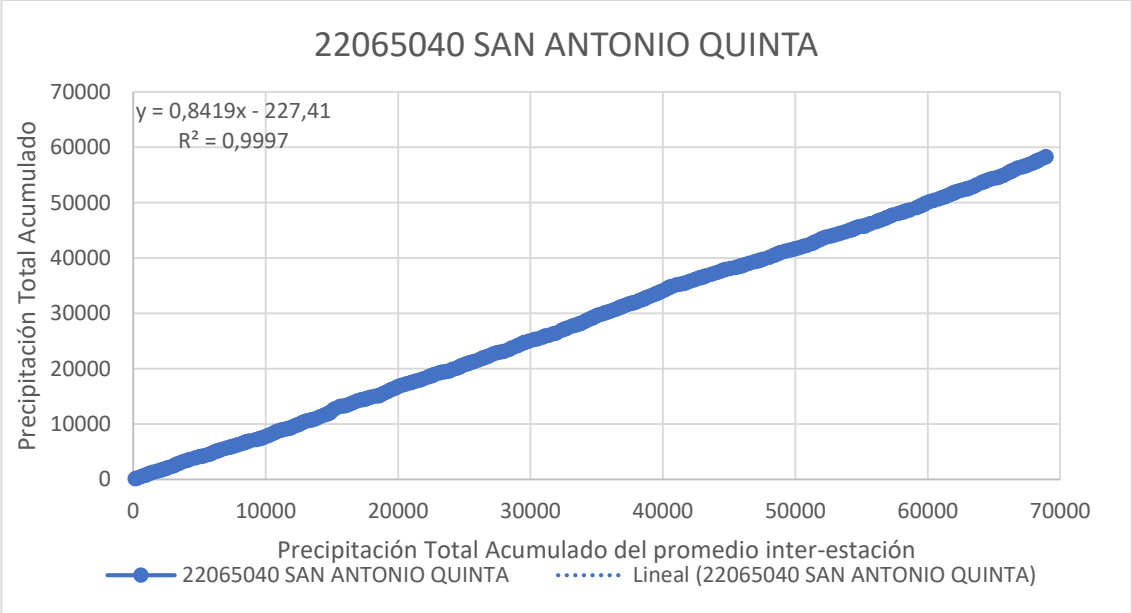
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 11. Análisis de doble masa estación Climatológica ordinaria El limón



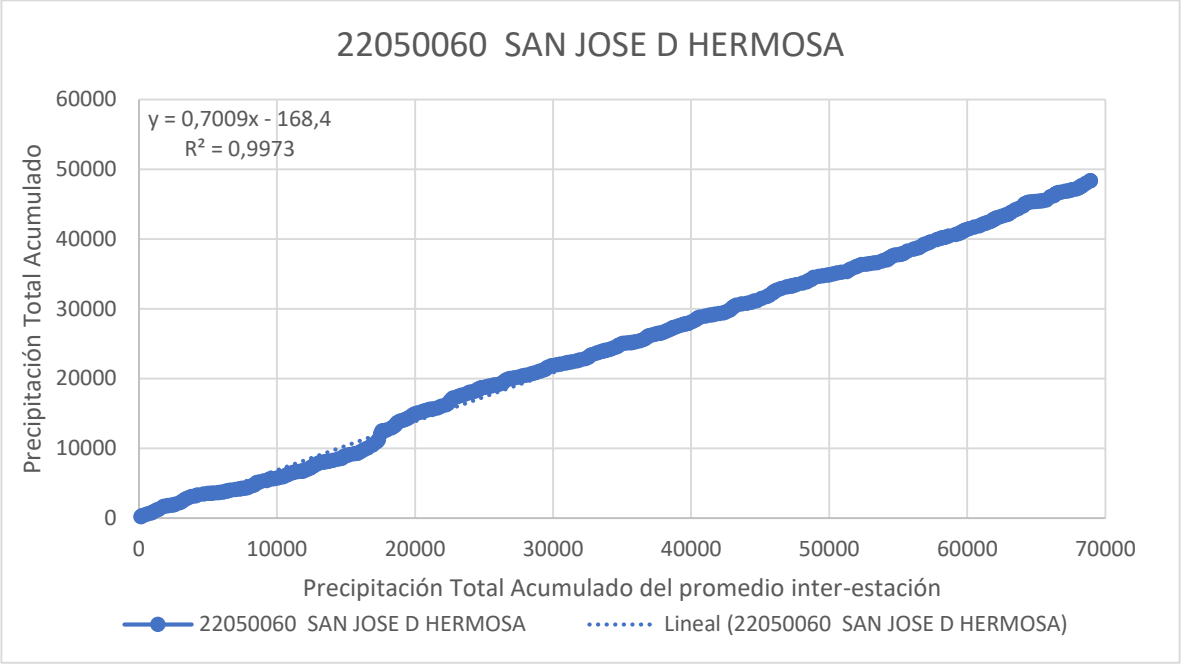
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 12. Análisis de doble masa estación Climatológica principal San Antonio Quintana.



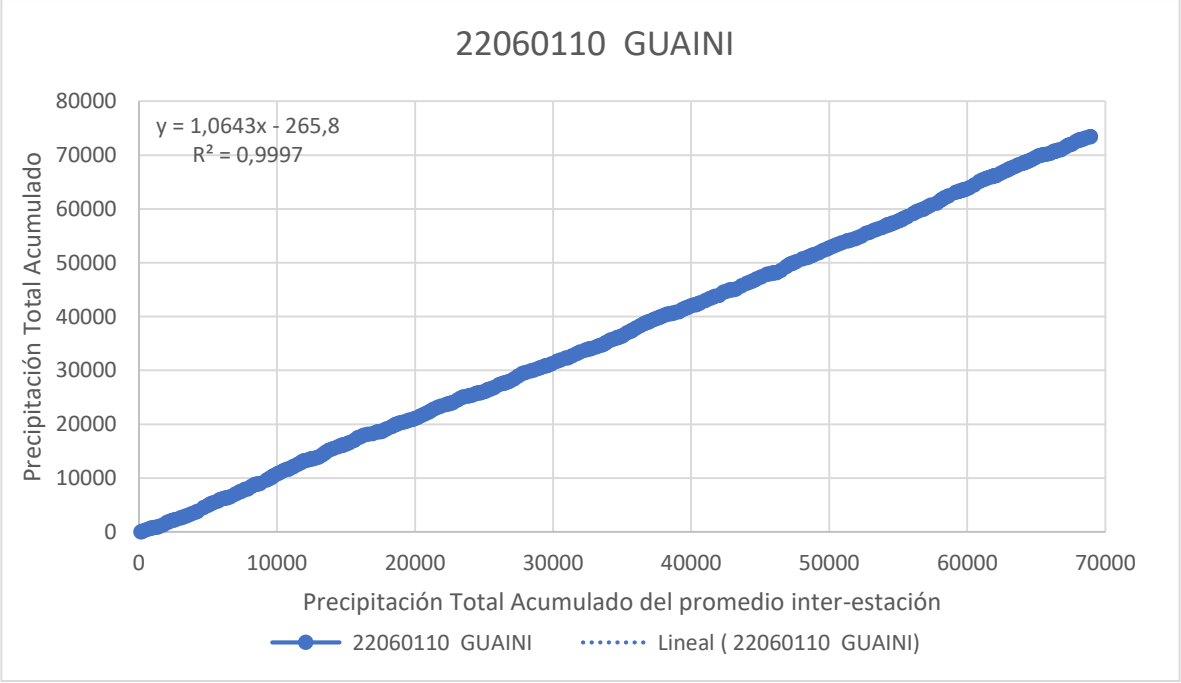
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 13. Análisis de doble masa estación pluviográfica San José de las Hermosas.



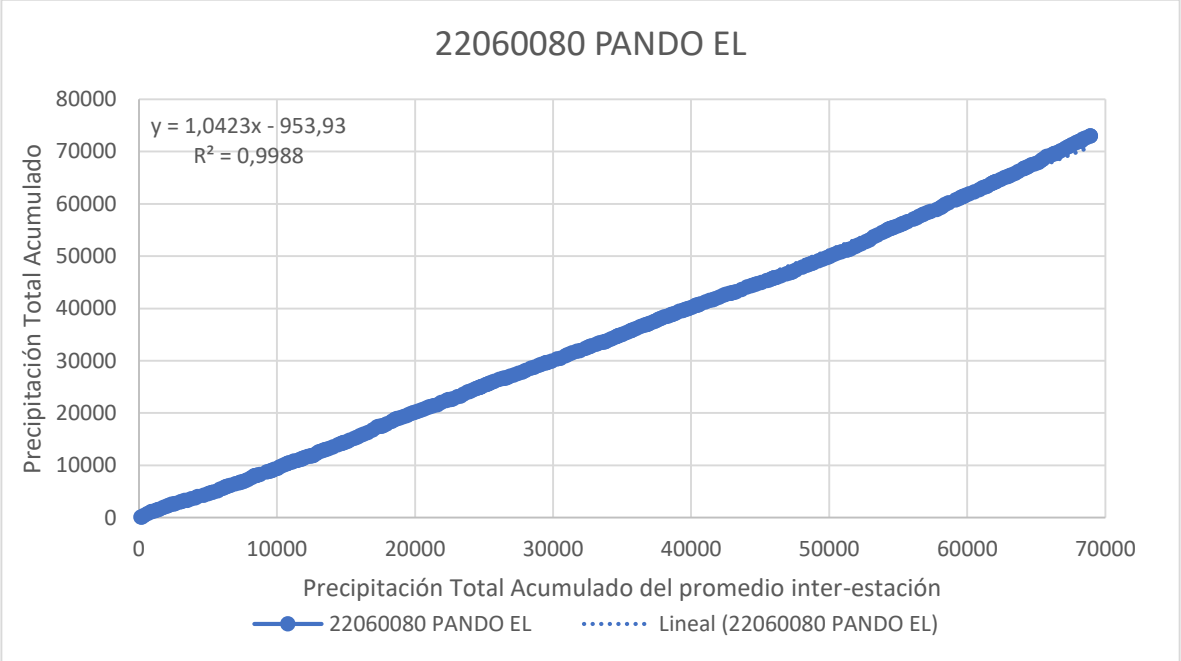
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 14. Análisis de doble masa estación pluviométrica Guainí



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 15. Análisis de doble masa estación pluviométrica El Pando.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Para la corrección, se debe suponer que los datos actuales son homogéneos y se emplea la siguiente expresión (G. Monsalve. 2015. Hidrología en la Ingeniería):

$$P_{aj} = \left(\frac{M_a}{M_o}\right) P_o$$

En donde: $\boldsymbol{P_{aj}}$: Observaciones de precipitación ajustadas a las condiciones actuales de localización, exposición o método de observación del puesto pluviométrico.

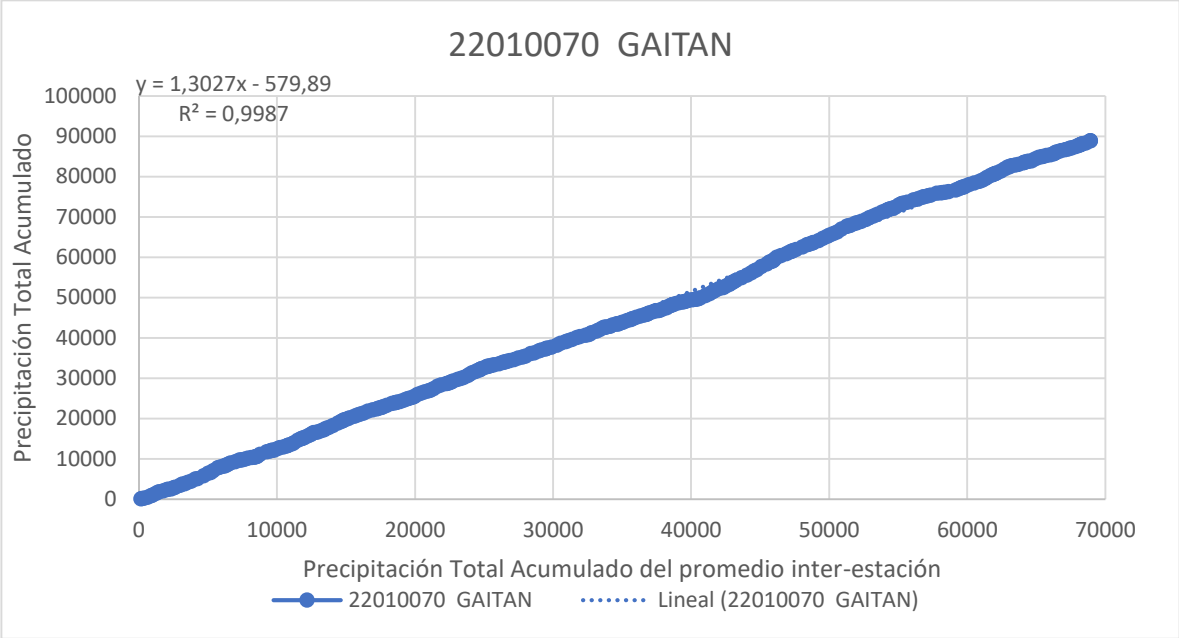
$\boldsymbol{P_o}$: Datos observados que deben ser corregidos

$\boldsymbol{M_a}$: Pendiente de la recta durante el periodo correcto de toma de datos.

$\boldsymbol{M_o}$: Pendiente de la recta en el periodo en que se hicieron las observaciones $\boldsymbol{P_o}$

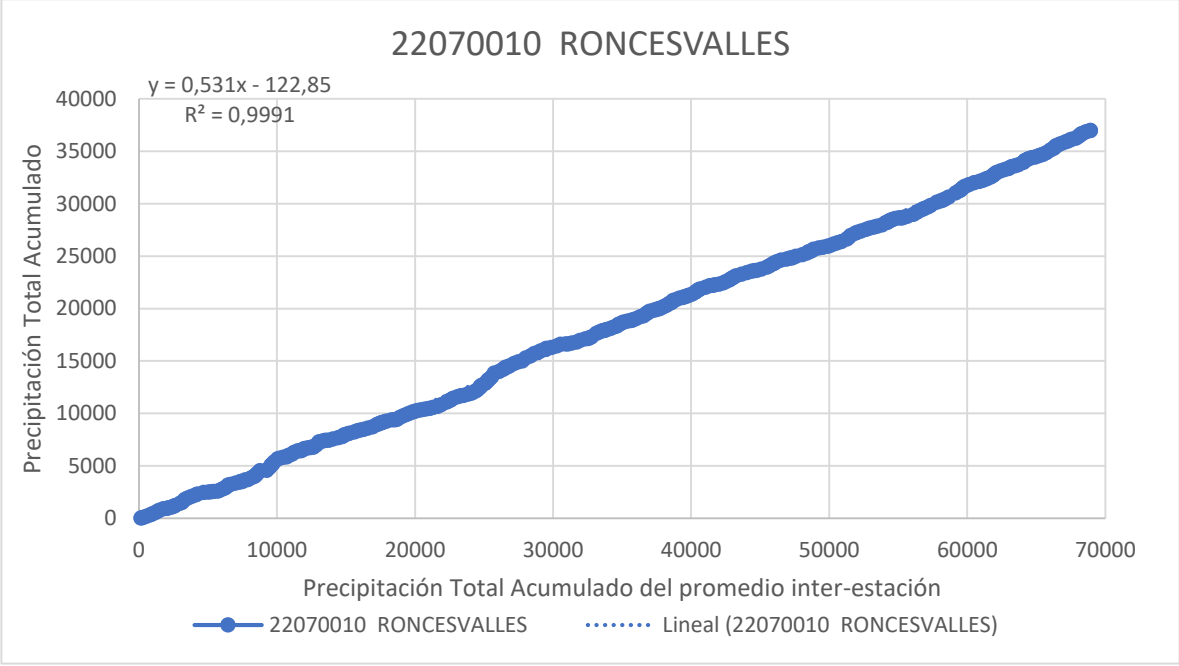
A continuación, se presentan las grafica de doble masa con los datos corregidos.

Figura 16. Corrección de Homogeneidad por doble masa para la estación pluviométrica Gaitán.



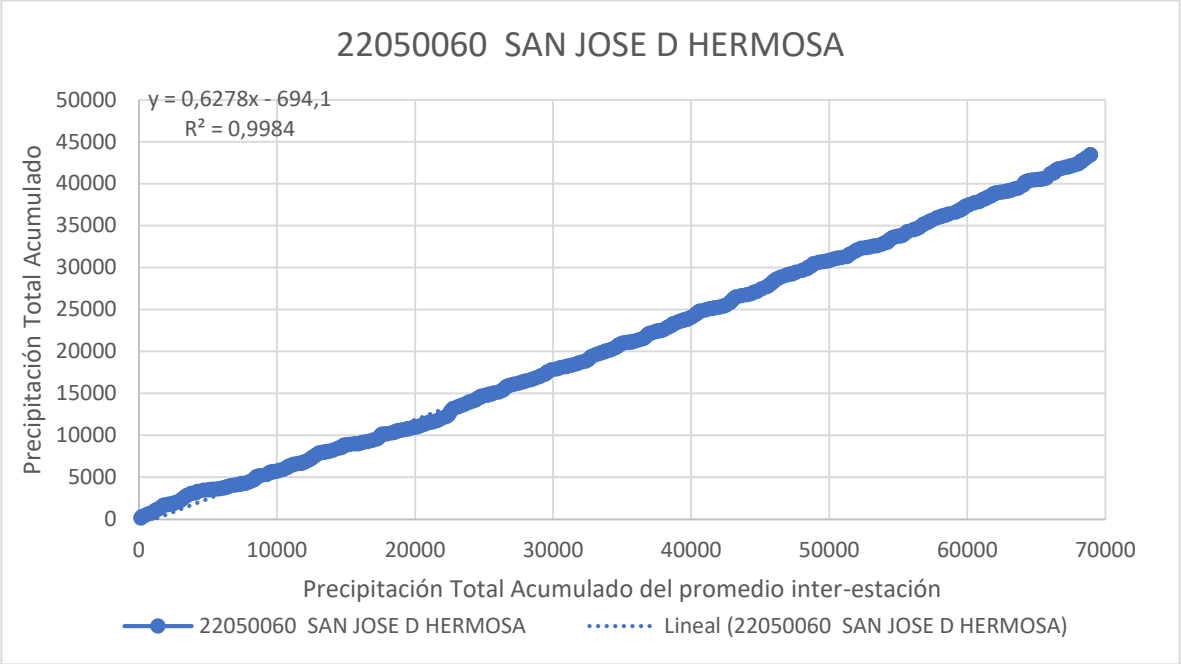
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 17. Corrección de Homogeneidad por doble masa para la estación pluviométrica Roncesvalles.



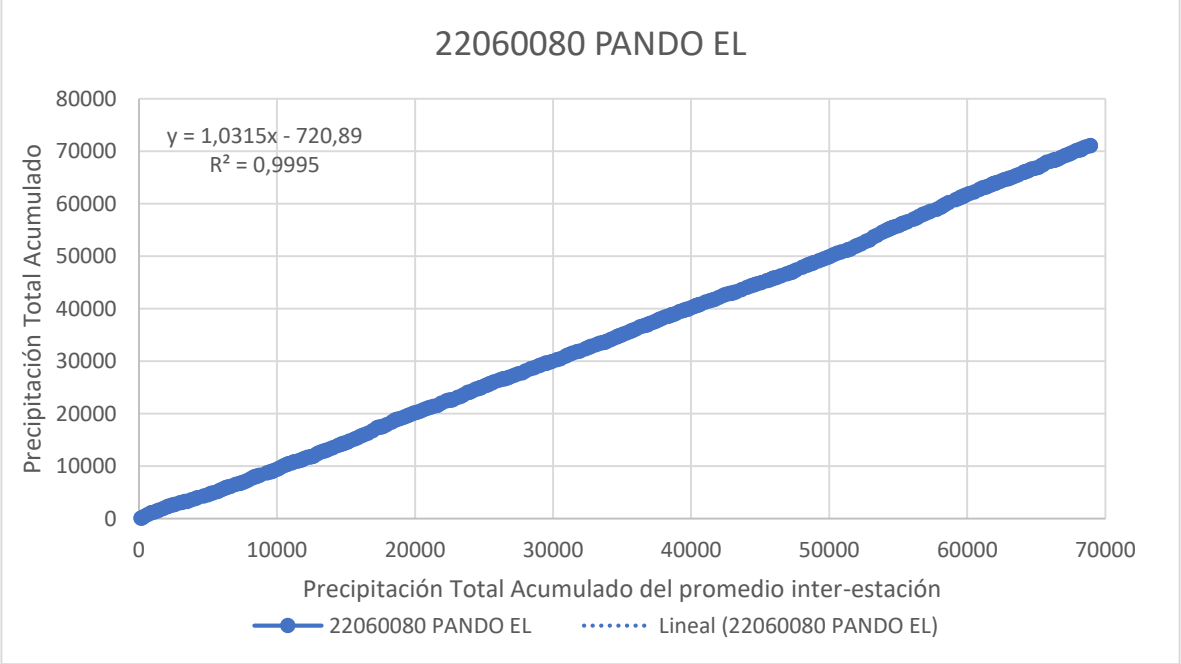
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 18. Corrección de Homogeneidad por doble masa para la estación pluviográfica San José de las Hermosas.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 19. Corrección de Homogeneidad por doble masa para la estación pluviométrica El Pando.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

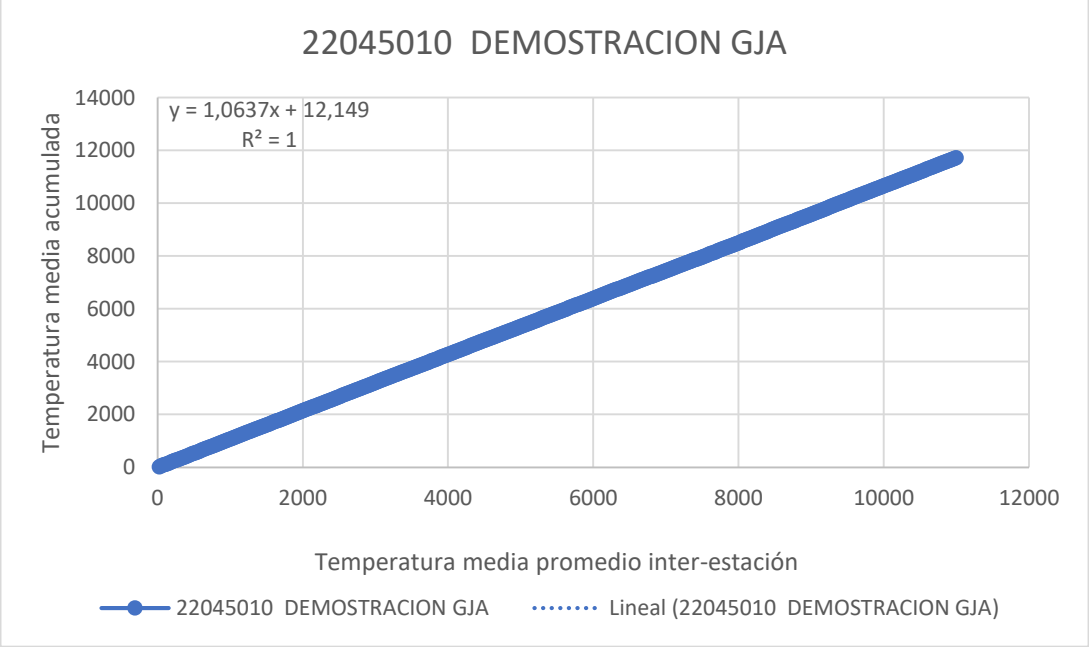
3.3.2 Análisis De Homogeneidad Y Consistencia De Temperatura.

Posteriormente se realizó el análisis de homogeneidad y consistencia de los datos, con el elemento climático de temperatura media, con el procedimiento de análisis de doble masa, para las tres estaciones que realizan registro de este elemento:

- Demostración la granja (22045010)
- El Limón (22045020)
- San Antonio Quinta (22065040)

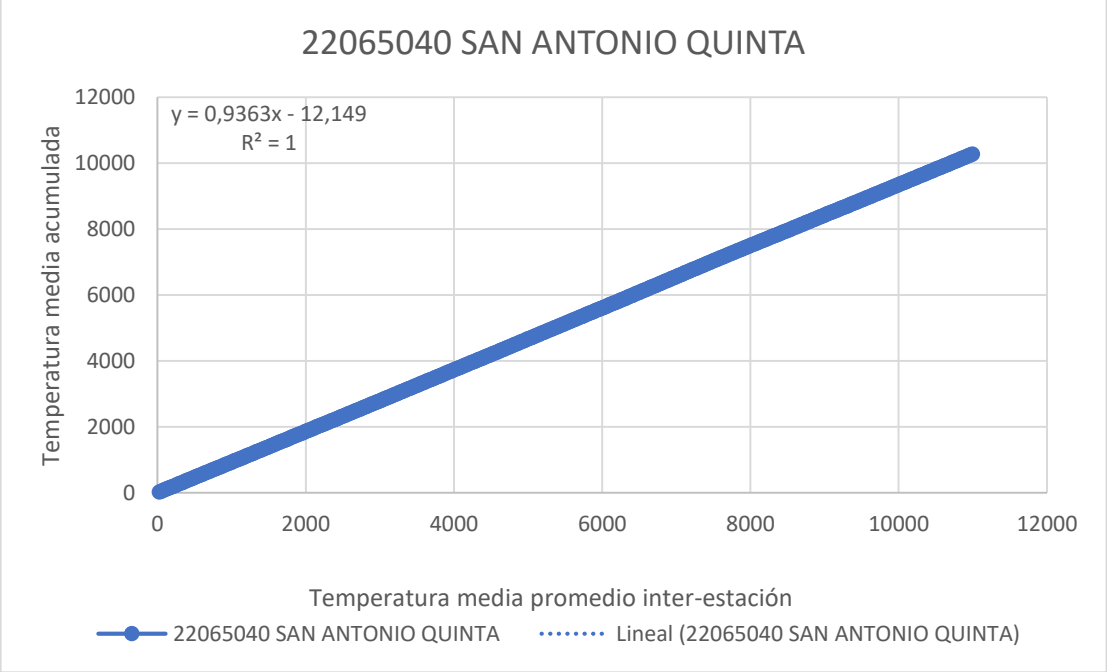
El análisis de doble masa dio como resultado que las tres estaciones son homogéneas y están altamente correlacionadas.

Figura 20 Corrección de Homogeneidad por doble masa para la estación Climatológica Ordinaria Demostración la granja.



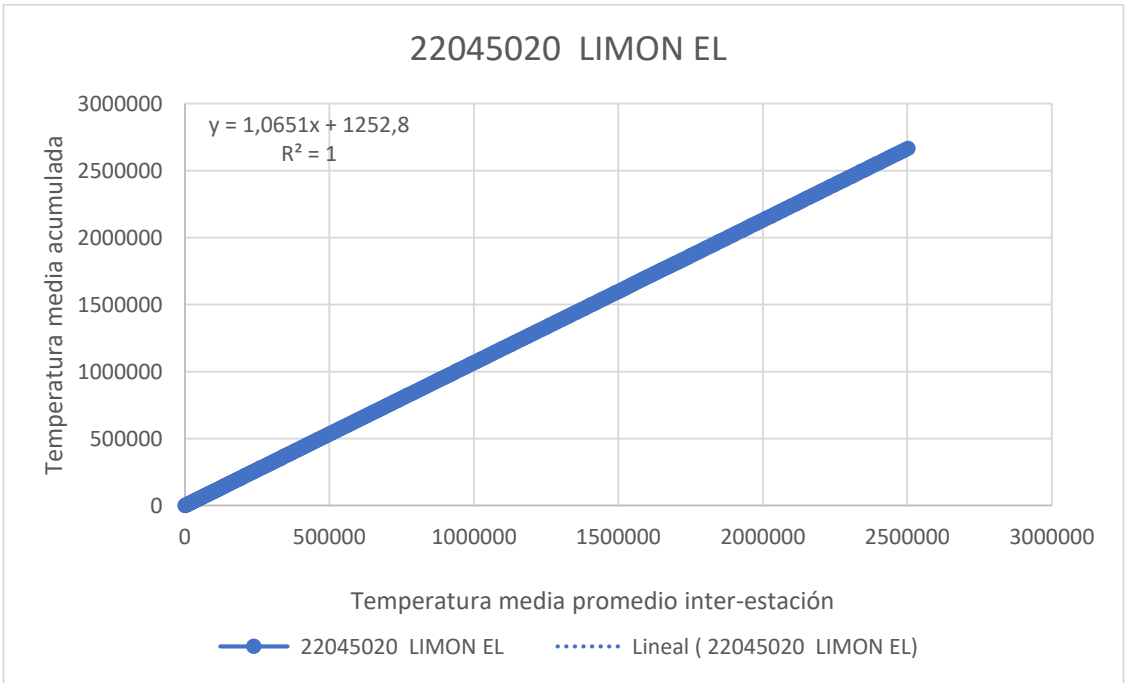
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 21 Corrección de Homogeneidad por doble masa para la estación Climatológica Principal San Antonio Quinta.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 22. Corrección de Homogeneidad por doble masa para la estación Climatológica Ordinaria El Limón.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

3.4 ANÁLISIS DE TENDENCIAS.

Es el método de análisis que consiste en observar el comportamiento de los diferentes elementos climáticos, con el objetivo de detectar posibles cambios significativos o un comportamiento constante en el transcurso del tiempo.

Para este análisis se utilizó el procedimiento de *serie de medias móviles,* el cual se considera como una serie temporal artificial construida sustituyendo el valor observado del elemento climático de interés en cada período, por la media de dicho valor y algunos anteriores y posteriores a él. En general, el primer valor de una media móvil de orden k es:

$$MM_1 = \frac{X_1 + X_2 + \cdots + X_k}{k}$$

el segundo valor es:

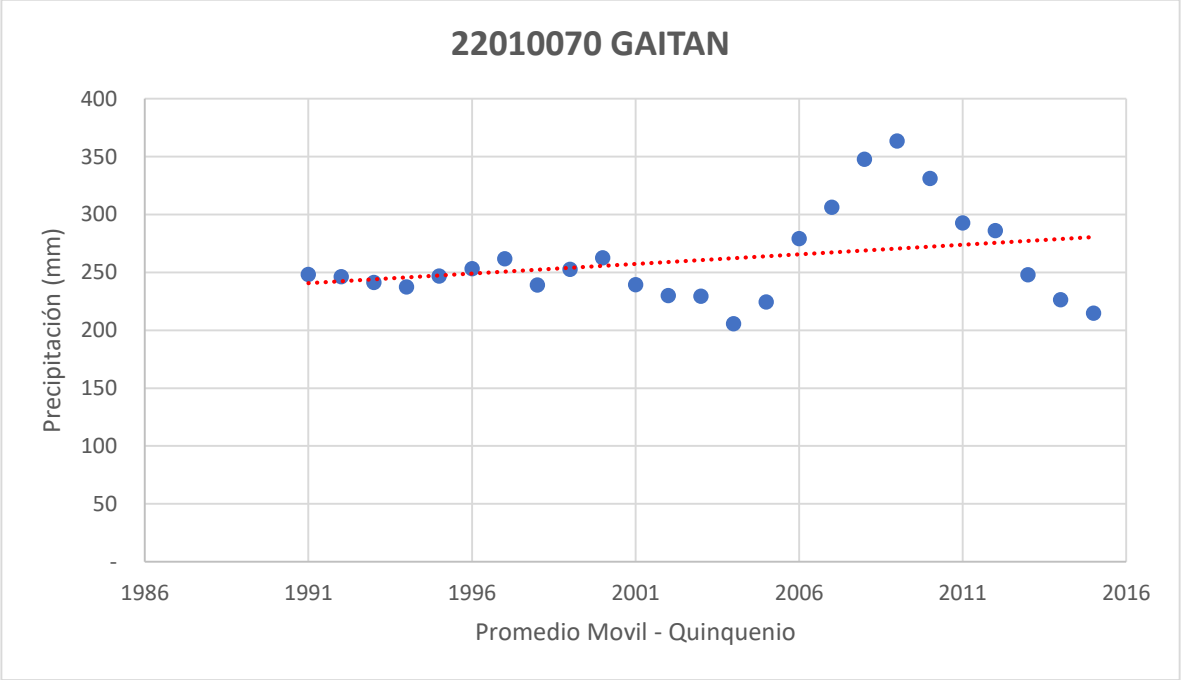
$$MM_2 = \frac{X_2 + X_3 + \cdots + X_{k+1}}{k}$$

Por el mismo procedimiento se calculan los valores sucesivos. De esta forma se obtiene una serie alisada, de la cual se han eliminado o suavizado las fluctuaciones con periodicidad igual o inferior al orden de la media móvil. Esta serie alisada puede considerarse como una serie de estimaciones de la tendencia en cada período.

3.4.1 Análisis De Tendencias De La Precipitación.

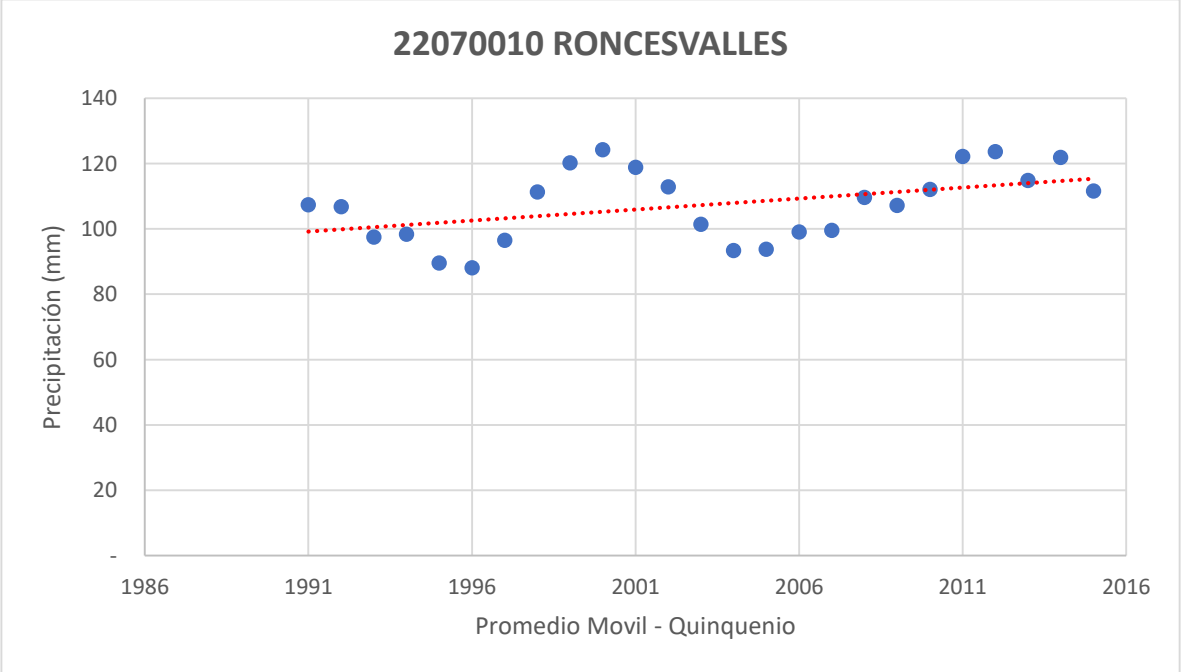
El análisis de tendencia de la Precipitación se realizó a través de la metodología de media móvil, la cual se desarrolla a través de establecer la media de subconjuntos de datos dentro de la serie que se esté analizando, con el fin de minimizar las fluctuaciones en la misma y visualizar las posibles tendencias. Para las estaciones de la cuenca Amoyá, se seleccionaron conjuntos de datos de doce meses, para un total de 25 subconjuntos de datos, y para cada uno de estos subconjuntos se calculó la respectiva media, y posteriormente se realizó la gráfica para visualizar las fluctuaciones de la serie y poder determinar la tendencia, de igual forma se calculó la pendiente para cada una de las gráficas (Ver Figuras 23 a 30); y el análisis consolidado de la red de estaciones de la cuenca

Figura 23. Graficas de tendencia de precipitación para la estación Gaitán.



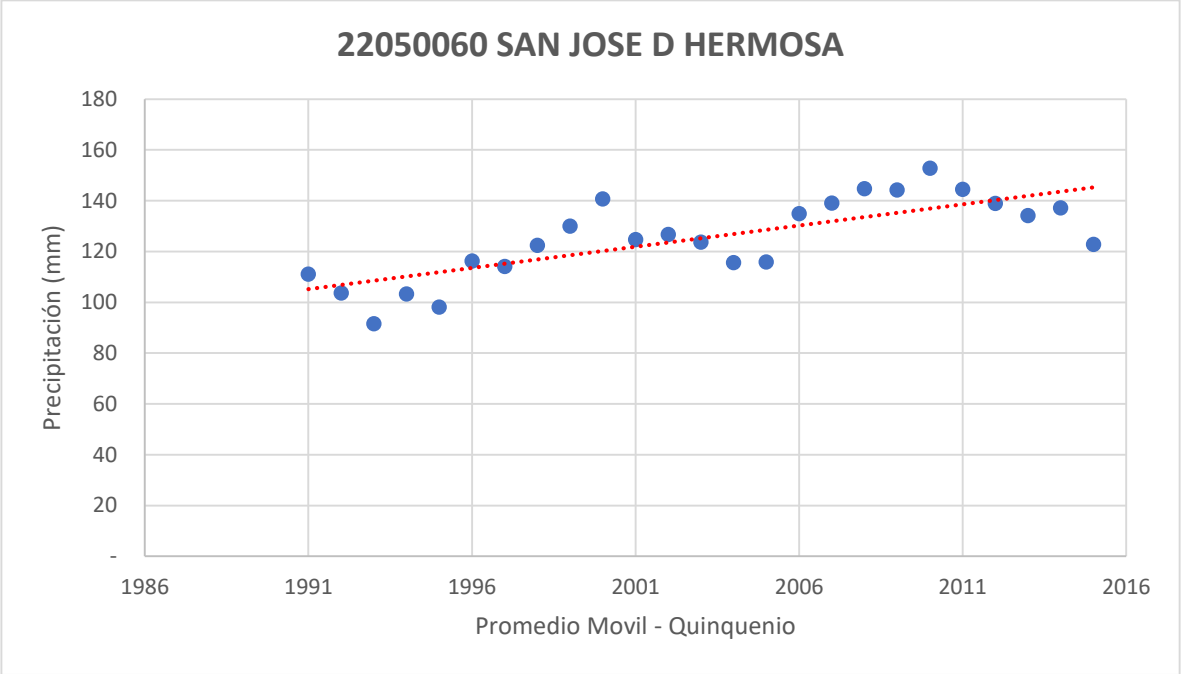
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 24. Graficas de tendencia de precipitación para la estación Roncesvalles



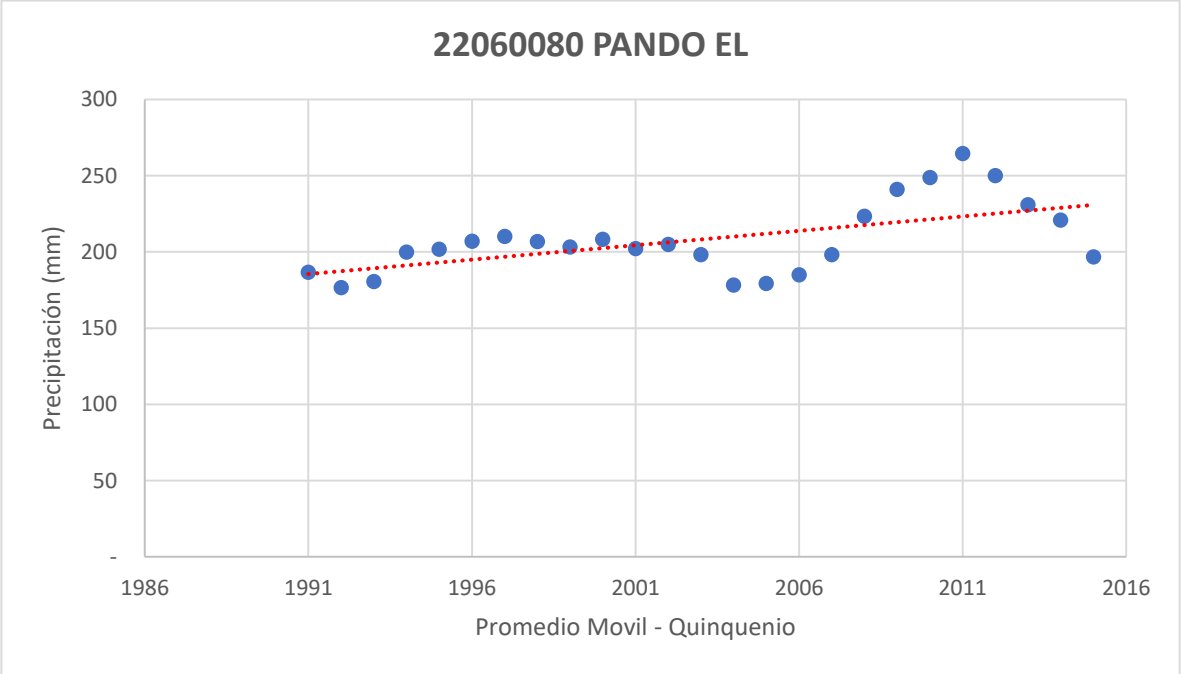
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 25. Graficas de tendencia de precipitación para la estación San José de las Hermosas.



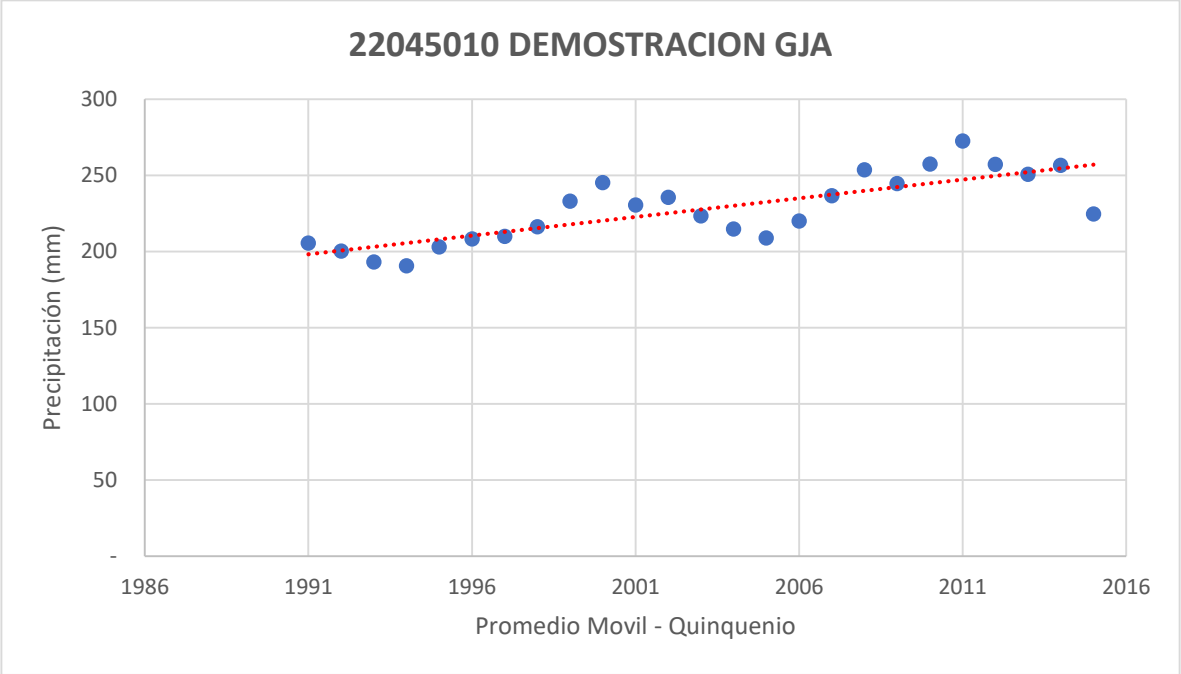
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 26. Graficas de tendencia de precipitación para la estación El Pando.



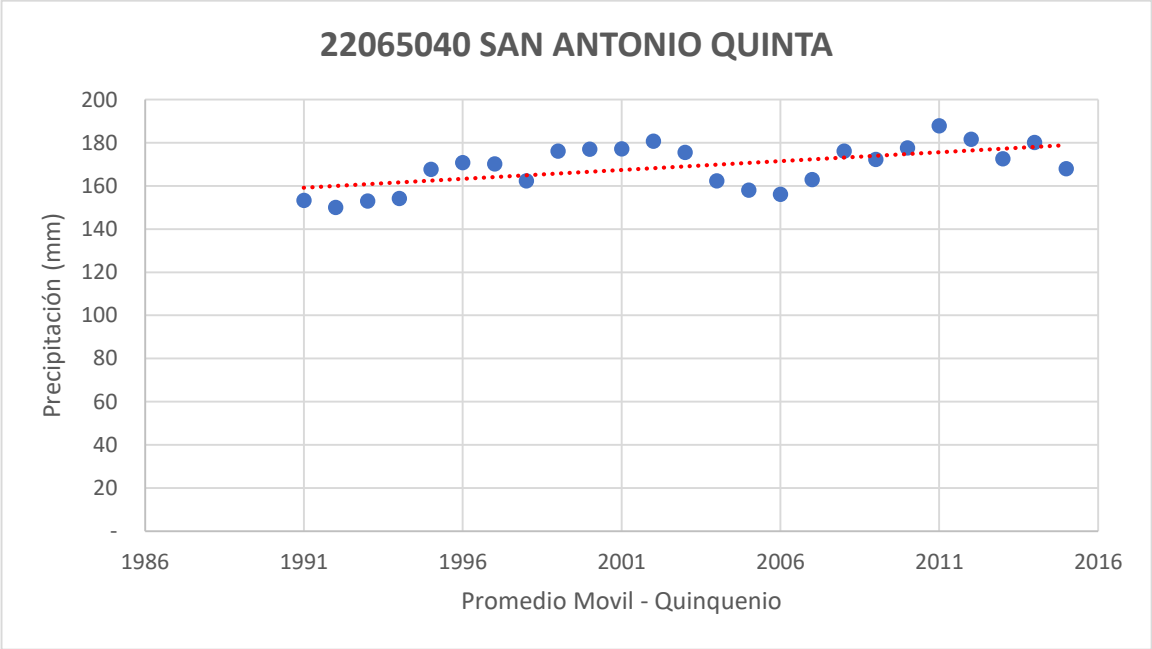
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 27. Graficas de tendencia de precipitación para la estación Demostración la Granja.



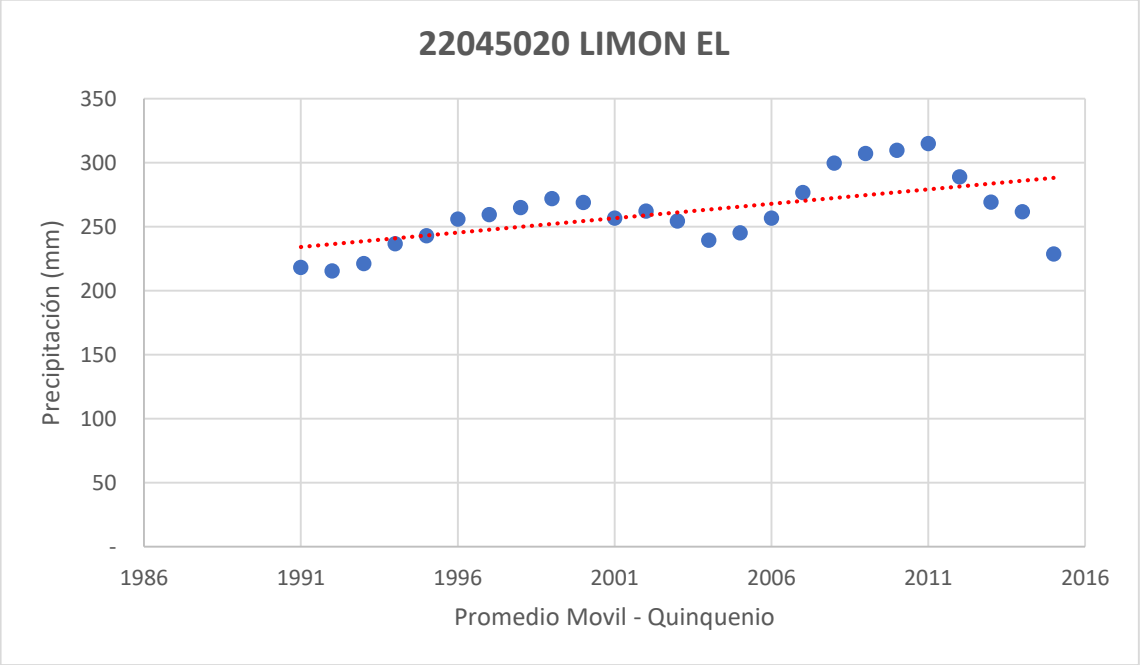
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 28. Graficas de tendencia de precipitación para la estación San Antonio Quinta.



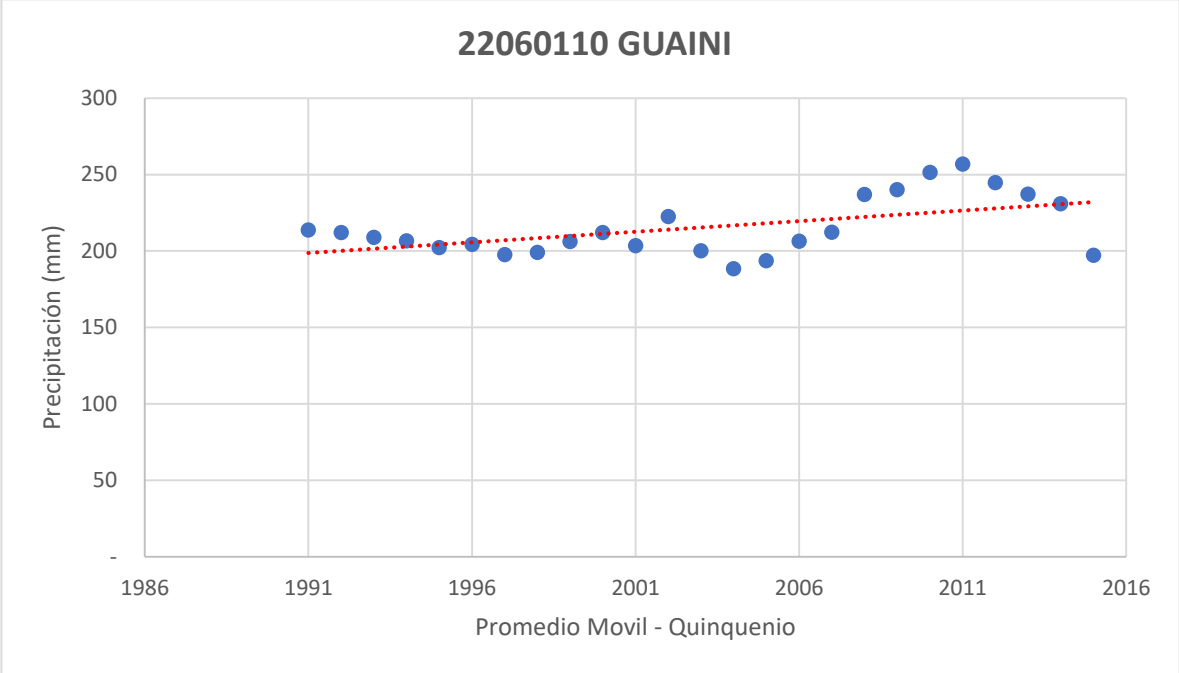
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 29. Graficas de tendencia de precipitación para la estación El Limón.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 30. Graficas de tendencia de precipitación para la estación Guaní.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

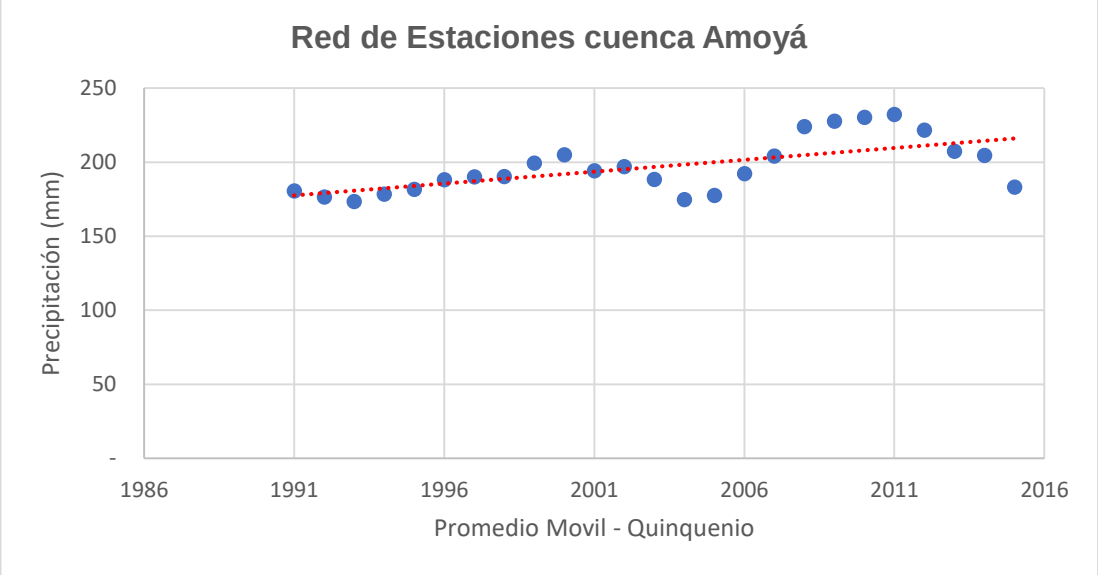
Tabla 12. Relación de valores de pendiente de las líneas de tendencia para cada estación de la cuenca Amoyá

Estación	Pendiente	Tendencia
Gaitán	0,05470	Positiva
Roncesvalles	0,29601	Positiva
Demostración gja	0,25727	Positiva
El Limón	0,15889	Positiva
San Antonio quinta	0,40341	Positiva
San José de las hermosa	0,34686	Positiva
Guainí	0,20346	Positiva
El Pando	0,18142	Positiva

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.Fuente**:** Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Tabla 12, Donde todos los valores de la pendiente son positivos. A pesar de la tendencia encontrada (**Figura 31**) para toda la red de estaciones, con una pendiente de 0,25, no es correcto concluir que la cuenca presenta una tendencia constante aumento; para poder llegar a este tipo de conclusiones se requieren estudios de mayor detalle y a nivel regional, que no son el objeto del presente componente.

Figura 31. Gráfica de tendencia de precipitación para la red de estaciones de la cuenca Amoyá.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

3.4.2 Análisis De Tendencias Para Temperatura Media.

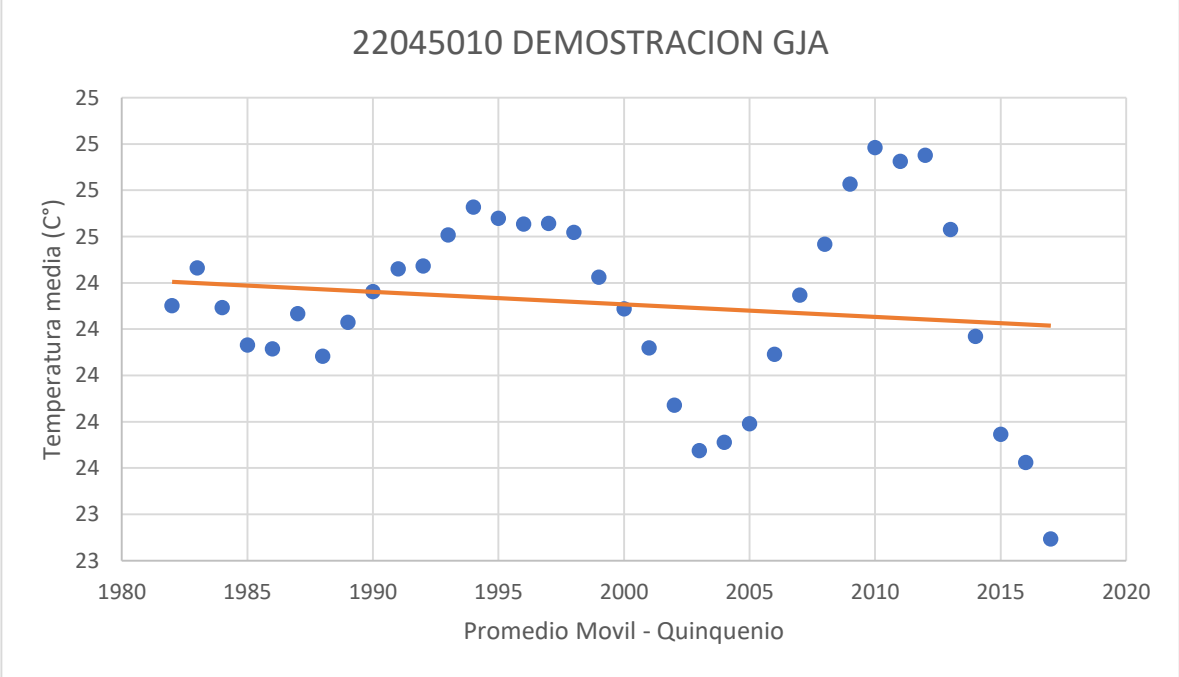
Para el elemento climático Temperatura media, también se empleó la metodología de la media móvil, con el objeto de establecer si existe algún tipo de tendencia, de igual forma, también se calculó la pendiente para cada una de las gráficas (Ver figuras 32 a 34).

Tabla 13. Relación de valores de pendiente de las líneas de tendencia para cada estación de la cuenca Amoyá

Estación	Pendiente
Demostración gja	-3,6364
El Limón	4,9824
San Antonio quinta	-2,8380

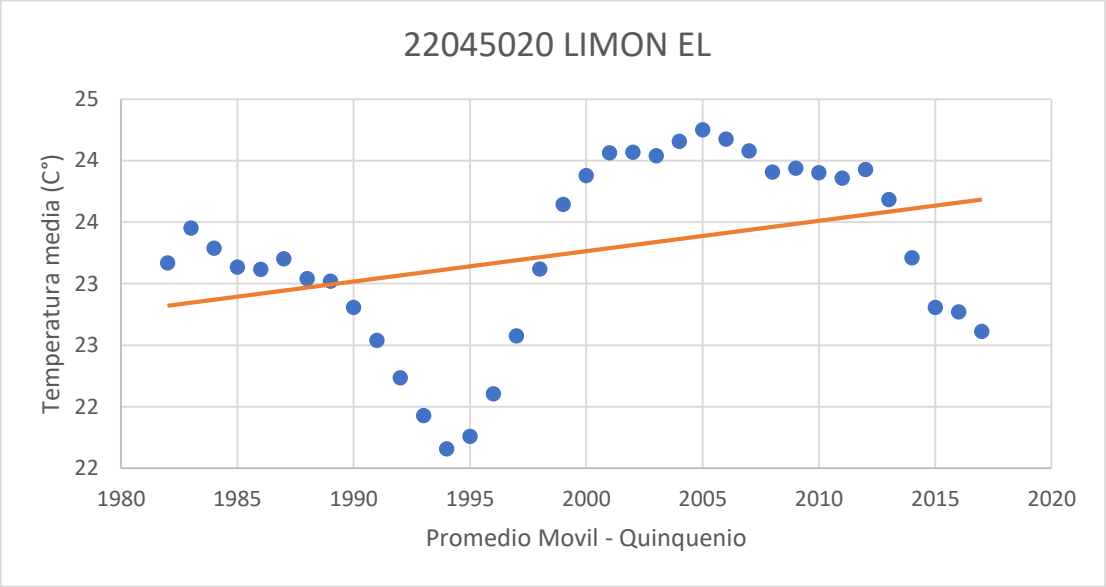
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 32. Gráfica de tendencia de Temperatura media para la estación Granja demostración.



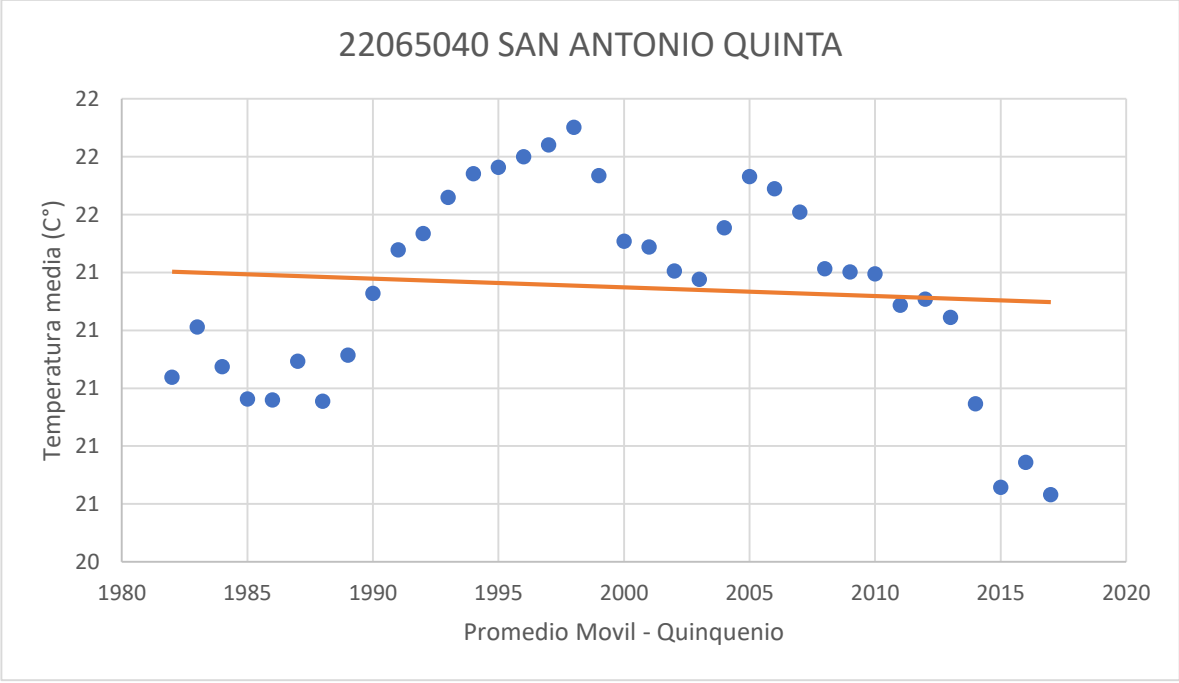
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 33. Gráfica de tendencia de Temperatura media para la estación El Limón.



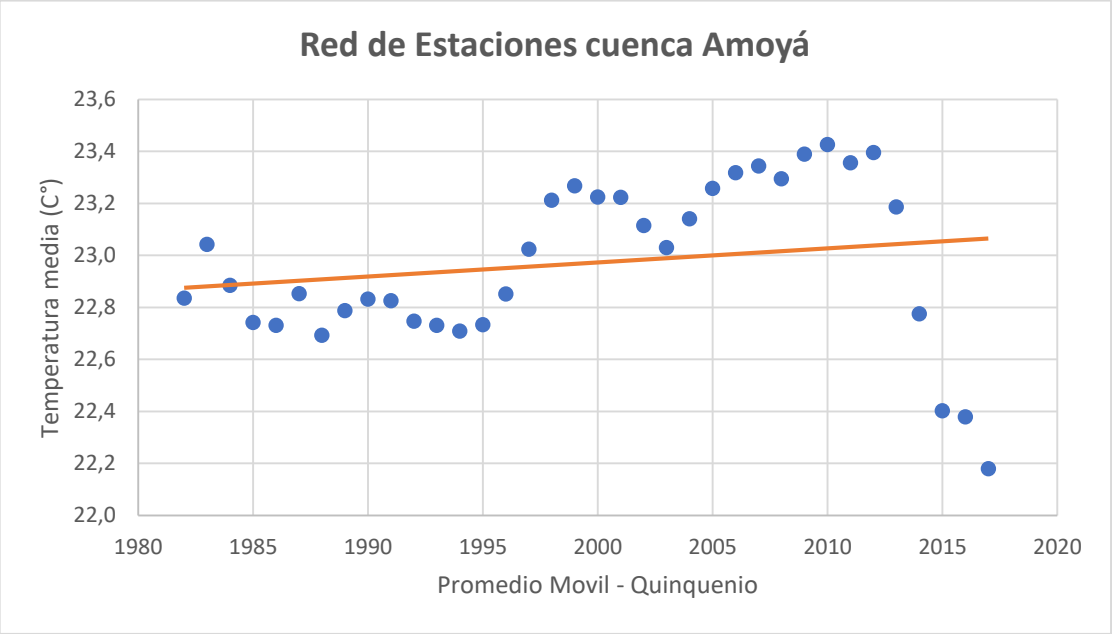
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 34. Gráfica de tendencia de Temperatura media para la estación San Antonio Quinta.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 35. Gráfica de tendencia de Temperatura media para la red de estaciones de la cuenca Amoyá.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

En las figuras 32 a 34 se observa que 2 estaciones muestran una tendencia negativa (**Fuente:** Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 32 y **Figura 34**), es decir, existe una disminución en la temperatura media en las estaciones Granja demostración y San Antonio Quinta, mientras que la estación El Limón registra una tendencia al aumento de la Temperatura media, lo cual se puede corroborar en la **Tabla 13**. La tendencia total de la cuenca se muestra en la **Figura 35**, la cual nos muestra una tendencia de aumento en la Temperatura media con una pendiente positiva de 6,15. De igual forma que en el elemento climático de Precipitación no es correcto concluir que la cuenca presenta una tendencia constante aumento; ya que para poder llegar a este tipo de conclusiones se requieren estudios de mayor detalle y a nivel regional, que no son el objeto del presente componente.

4. IDENTIFICACIÓN DE VARIACIÓN CLIMÁTICA – ENSO

Inundaciones y aludes en la zona andina, sequías e incendios forestales en la Amazonia y la Orinoquia, y tempestades de lluvia extrema en todo el País. Todos estos eventos son provocados por la misma causa, el fenómeno denominado el Niño-Oscilación del Sur, (ENSO, por sus siglas en inglés, El Niño-*Southern Oscillation*), el cual es el resultado de la combinación de cambios en los océanos y atmósfera que afecta el clima en muchas partes del mundo.

Este fenómeno inicia a partir de los cambios en las condiciones, consideradas como normales, cuando los vientos alisios mueven el agua en la superficie del océano desde el Pacífico tropical del este hacia el Pacífico occidental, crea una corriente ascendente de agua fría en la costa de Perú y Chile, rica en alimento que da sustento a gran diversidad de vida de marina. El Pacífico occidental se encuentra en un sistema de baja presión y tiene un estado del tiempo húmedo. El Pacífico del este, en un sistema de alta presión y es seco. Pero cada 3 a 7 años, la atmósfera y el océano cambian durante los acontecimientos de EL Niño y La Niña, los dos extremos de ENSO (Tierra, 2018).

- **ENSO – El Niño:** La presión atmosférica aumenta en el pacífico occidental y disminuye en la parte central y este del Pacífico; la fase cálida de ENSO que ocurre en el invierno del hemisferio norte. Sin el fuerte gradiente de presión los vientos alisios se debilitan. Sin los vientos alisios que arrastran las aguas del Océano Pacífico tropical hacia el oeste, el agua cálida y pobre en nutrientes se acumula y extiende hacia el este. En Colombia con respecto a los valores normales, las temperaturas son mayores y las precipitaciones disminuyen.

- **ENSO – La Niña:** La fase fría de ENSO, los vientos alisios se hacen más fuertes a lo largo del Pacífico debido a que refuerza la baja presión del Pacífico occidental, como le pasa a la alta presión sobre la zona central y este del Pacífico. Esto genera más cantidad de corrientes ascendentes de agua en el océano en la costa de Perú y de Chile, haciendo que el agua superficial del este tropical del Pacífico sea particularmente fría. En Colombia se genera una disminución de las temperaturas e incremento en las precipitaciones.

El objeto de conocer las características del fenómeno ENSO, es el de construir escenarios futuros para el manejo integral del recurso hídrico de las cuencas en ordenación, especialmente en las temáticas hidrológicas donde el análisis de estas

variables puede plantear el desarrollo de diversos escenarios hidrológico, y repercutir en los procesos de planificación.

4.1 ESCALAS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

El clima varía naturalmente en diferentes escalas de tiempo y espacio. Dentro de sus fluctuaciones temporales, las siguientes se consideran las de mayor trascendencia en la determinación y modulación de procesos atmosféricos (Bocanegra, Edgar, J., & Caicedo, J., 2000):

- **ESCALA ESTACIONAL:** En esta escala se define la fluctuación del clima a nivel mensual. La determinación del ciclo anual de los elementos climáticos es una fase fundamental dentro de la variabilidad climática a este nivel. “En latitudes medias, la secuencia de las estaciones de invierno, primavera, verano y otoño es algo común para los habitantes de dichas regiones; en tanto que, en latitudes tropicales, lo frecuente es la alternancia de temporadas lluviosas y temporadas secas”. El planeamiento de las actividades, particularmente las agropecuarias, depende del conocimiento de este tipo de secuencia periódica. La migración de la Zona de Confluencia Intertropical - ZCIT, es considerada como una de las más importantes fluctuaciones climáticas de la escala estacional. (Bocanegra, Edgar, J., & Caicedo, J., 2000).

- **INTRAESTACIONAL:** Este tipo de variabilidad es menos notorio y ha sido de las menos estudiadas en nuestro medio (Pabón & Montealegre, 1997). Existen evidencias que, dentro de las estaciones, se presentan oscilaciones que determinan las condiciones de tiempo durante decenas de días o de uno a dos meses. La mayoría de las veces estas oscilaciones pasan desapercibidas porque su amplitud es pequeña, en comparación con las del ciclo anual. Dentro de las oscilaciones intraestacionales se destaca una señal de tipo ondulatorio, denominada de 30-60 días.

  Esta ha sido detectada en la actividad convectiva en el Pacífico Tropical Oriental y en la precipitación de esta región y de la América Tropical; se asocia con las ondas de Madden - Julián, descubiertas en 1971 en el campo de la presión tropical. (Bocanegra, Edgar, J., & Caicedo, J., 2000)

- **INTERANUAL**: A esta escala corresponden las variaciones que se presentan en las variables climatológicas de año en año. Normalmente percibimos que la precipitación de la estación lluviosa en un determinado lugar, no siempre es la misma de un año a otro, sino que fluctúa por encima o por debajo de lo normal. La variabilidad climática, enmarcada dentro de esta escala, podría estar relacionada con alteraciones en el balance global de radiación. Un ejemplo típico de la variabilidad climática interanual corresponde a los fenómenos enmarcados dentro del ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del Sur. (Pabón & Montealegre, 1997).

  Otras fluctuaciones de las variables climáticas en la escala interanual podrían estar asociadas con la Oscilación Cuasi bienal, la cual corresponde a una oscilación de largo plazo en la dirección del viento zonal de la baja y media estratosfera ecuatorial, con un período irregular que varía entre 20 y 35 meses. En cada lapso se alternan los vientos de componente Este con los del Oeste. (Bocanegra, Edgar, J., & Caicedo, J., 2000)

- **INTERDECADAL**: En esta escala se manifiestan fluctuaciones del clima a nivel de décadas. Comparativamente con la variabilidad interanual, la amplitud de estas oscilaciones es menor. Esta es una de las razones por las cuales este tipo de variabilidad pasa desapercibida para el común de la gente. No obstante, estas oscilaciones de largo plazo están influyendo notablemente en las actividades de la sociedad en ciclos interdecadales y resultan muy importantes en la determinación de posibles tendencias en las variables climáticas (Bocanegra, Edgar, J., & Caicedo, J., 2000).

4.2 PRESENTACIÓN DE LA ESCALA INTER-ANUAL DEL ENSO, SEGÚN *NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA*.

A continuación se presenta la evaluación de los episodios niño/niña, según la quinta versión del modelo de “Reconstrucción de Temperatura Extendida de la Superficie del Mar – ERSST” (por sus siglas en ingles *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature*), donde la clasificación de Períodos cálido (**Figura 36**) y frío (**Figura 37**) basados en un umbral de +/- 0,5° C para el Índice Oceánico de El Niño – ONI (*Oceanic Niño Index*, en inglés), con una ventana de análisis desde la década de 1950.

Figura 36. Fenómenos ENSO – El Niño ocurridos entre 1950-2018

Año	Año 1												Año 2												Intensidad
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1951-1952																									Débil
1953-1954																									Débil
1957-1958																									Moderado
1958-1959																									Débil
1963-1964																									Débil
1965-1966																									Moderado
1968-1969																									Débil
1969-1970																									Débil
1972-1973																									Moderado
1976-1977																									Débil
1977-1978																									Débil
1979-1980																									Débil
1982-1983																									Fuerte
1986-1987																									Fuerte
1991-1992																									Moderado
1994-1995																									Débil
1997-1998																									Fuerte
2002-2003																									Débil
2004-2005																									Débil
2006-2007																									Débil
2009-2010																									Débil
2014-2016																									Fuerte

Fuente: (Cold & Warm Episodes by Season, 2018)

Figura 37. Fenómenos ENSO -La Niña ocurridos entre 1950-2018

Año	Año 1												Año 2												Intensidad
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1950	■	■	■	■	■	■	■																		Débil
1954-1956					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Moderado
1964-1965					■	■	■	■	■	■	■	■	■												Débil
1970-1972							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Moderado
1973-1974					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						Moderado
1974-1976										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Moderado
1983									■	■	■	■													Débil
1984-1985										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					Débil
1988-1989					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								Moderado
1995-1996								■	■	■	■	■	■	■	■										Débil
1998-2001							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Fuerte
2005-2006											■	■	■	■	■										Débil
2007-2008							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■							Débil
2008-2009											■	■	■	■	■										Débil
2010-2011						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								Moderado
2011-2012							■	■	■	■	■	■	■	■	■										Débil
2016								■	■	■	■	■													Débil
2017-2018										■	■	■	■	■	■										Débil

Fuente: (Cold & Warm Episodes by Season, 2018)

De las Figuras 36 y 37, se concluye que en los últimos 68 años el modelo ERSST permite la identificación 22 ocurrencias del fenómeno El Niño (**Figura 36**), donde el 63,6% fueron débiles, el 18,2% moderados y el 18,2% se consideraron fuertes. En referencia a las 18 ocurrencias del fenómeno La Niña (**Figura 37**), el 61,1% fueron débiles, el 33,3% moderado y solo el 5,6% se consideraron fuertes. (**Tabla 14**)

Tabla 14. Distribución por intensidad de las ocurrencias de los Fenómenos El Niño y La Niña.

Intensidad	El Niño		La Niña	
	N° de Eventos	Porcentaje	N° de Eventos	Porcentaje
Débil	14	63,6%	11	61,1%
Moderado	4	18,2%	6	33,3%
Fuerte	4	18,2%	1	5,6%
TOTAL	**22**	**100,0%**	**18**	**100,0%**

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

4.3 CÁLCULO DE ÍNDICES DE ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN

Se construyen índices mensuales, trimestrales, estacionales y de periodo extendido que detectan anomalías o alteraciones del comportamiento de la precipitación con respecto a la media multianual. Las anomalías son calculadas como el cociente entre un dato cualquiera y su valor promedio multianual, expresado en porcentaje (%).

4.3.1 Promedio Mensual Multianual.

Del archivo consolidado de datos mensuales de precipitación o la temperatura del aire, se calcula el promedio mensual multianual de cada una de las series, involucrando la totalidad de los datos, desde la fecha inicial del periodo de estudio

$$Im_{ij} = \frac{Pa_{ij}}{\overline{Pa_j}} x100$$

Donde: $Im_{ij} =$ Índice del parámetro en el mes evaluado en el mes j y el año

$Pa_{ij} =$ Valor del parámetro a nivel mensual del ares del mes j y el año i

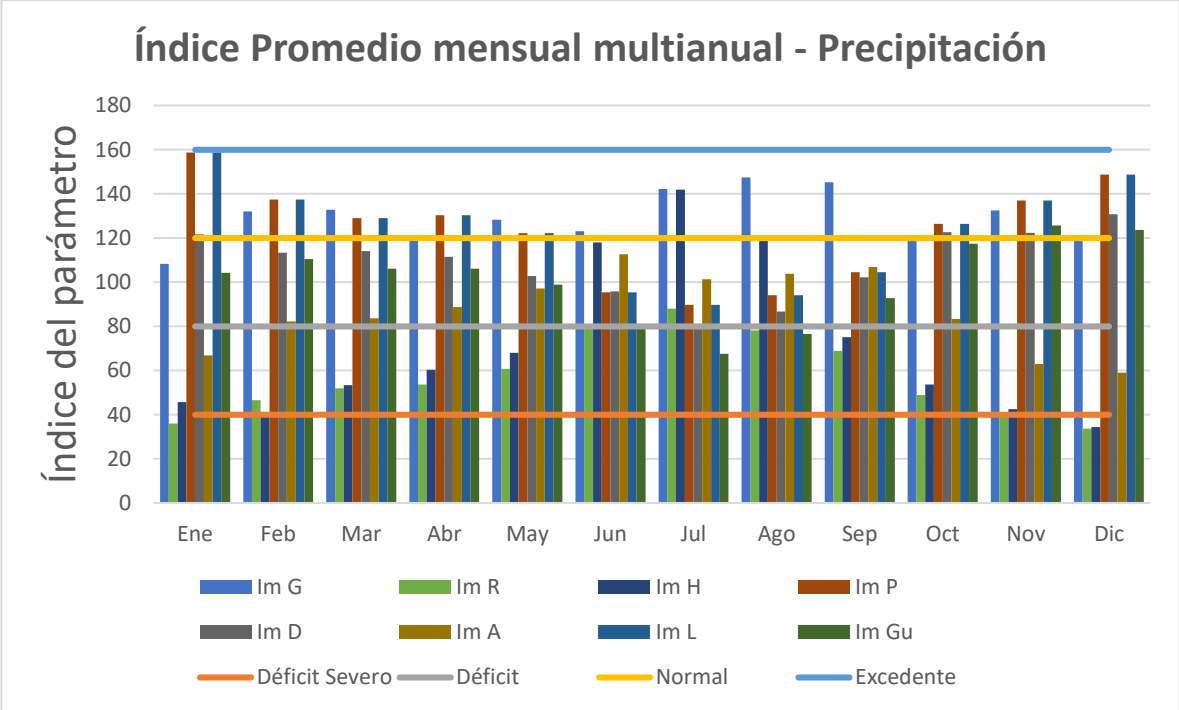
$\overline{Pa_j} =$ Promedio multianual del área del parámetro del mes j

A partir de la información del IDEAM se calcula el índice y se evalúa según los rangos mostrados en la **Tabla 15**.

Tabla 15. Descripción Índice del Promedio mensual multianual.

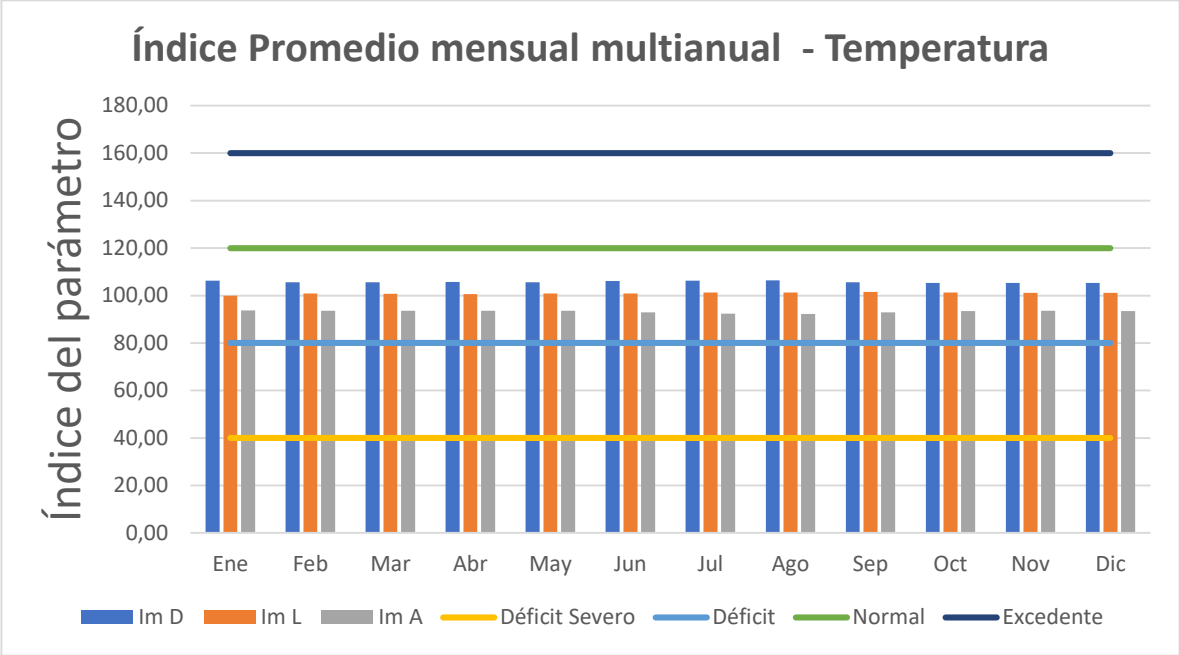
Rango De Variación	Descripción Del Efecto
$Im_{ij} \leq 40\%$	Déficit Severo (muy por debajo de lo normal)
$40\% < Im_{ij} \leq 80\%$	Déficit (por debajo de lo normal)
$80\% < Im_{ij} \leq 120\ \%$	Normal
$120\% < Im_{ij} \leq 160\%$	Excedente (por encima de lo normal)
$Im_{ij} > 160\%$	Excedente severo (muy por encima de lo normal)

Figura 38. Índice Promedio mensual multianual de precipitación para la Cuenca Amoyá (1987-2015)



Fuente: CORTOLIMA, 2018

Figura 39. Índice Promedio mensual multianual de temperatura para la Cuenca Amoyá (1978-2012,2017)



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Donde:

Im G	22010070	Gaitán
Im R	22070010	Roncesvalles
Im H	22050060	San José d Hermosa
Im P	22060080	Pando El
Im D	22045010	Demostración gja
Im A	22065040	San Antonio Quinta
Im L	22045020	Limón El
Im Gu	22060110	Guainí

Este índice nos muestra que solo en el periodo diciembre-enero, dos estaciones (22070010 – Roncesvalles y 22050060 San José d Hermosa) muestran un déficit severo en la precipitación registrada en su área de influencia la cual corresponde a la parte alta de la cuenca. Y solo en enero dos estaciones (22060080 - Pando El y 22045020 - Limón El) presentan valores de excedente correspondiente a la parte media de la cuenca.

4.3.2 Índice Puntual (No Acumulado).

El índice puntual de anomalías evalúa el comportamiento a nivel mensual de una variable dada, en este caso la precipitación, comparándola con el promedio multianual para el mismo mes y está dado por la siguiente ecuación:

$$Ip_{ij} = \frac{P_{ij}}{\overline{P_J}} x100$$

Donde: $Ip_{ij} =$ Índice del parámetro en el mes evaluado en el mes j y el año

$P_{ij} =$ Valor del parámetro a nivel mensual del mes j y el año i

$\overline{P_J} =$ Promedio multianual del parámetro del mes j

Teniendo en cuenta el índice puntual de anomalías el IDEAM describe el efecto de acuerdo a los rangos mostrados en la **Tabla 16**.

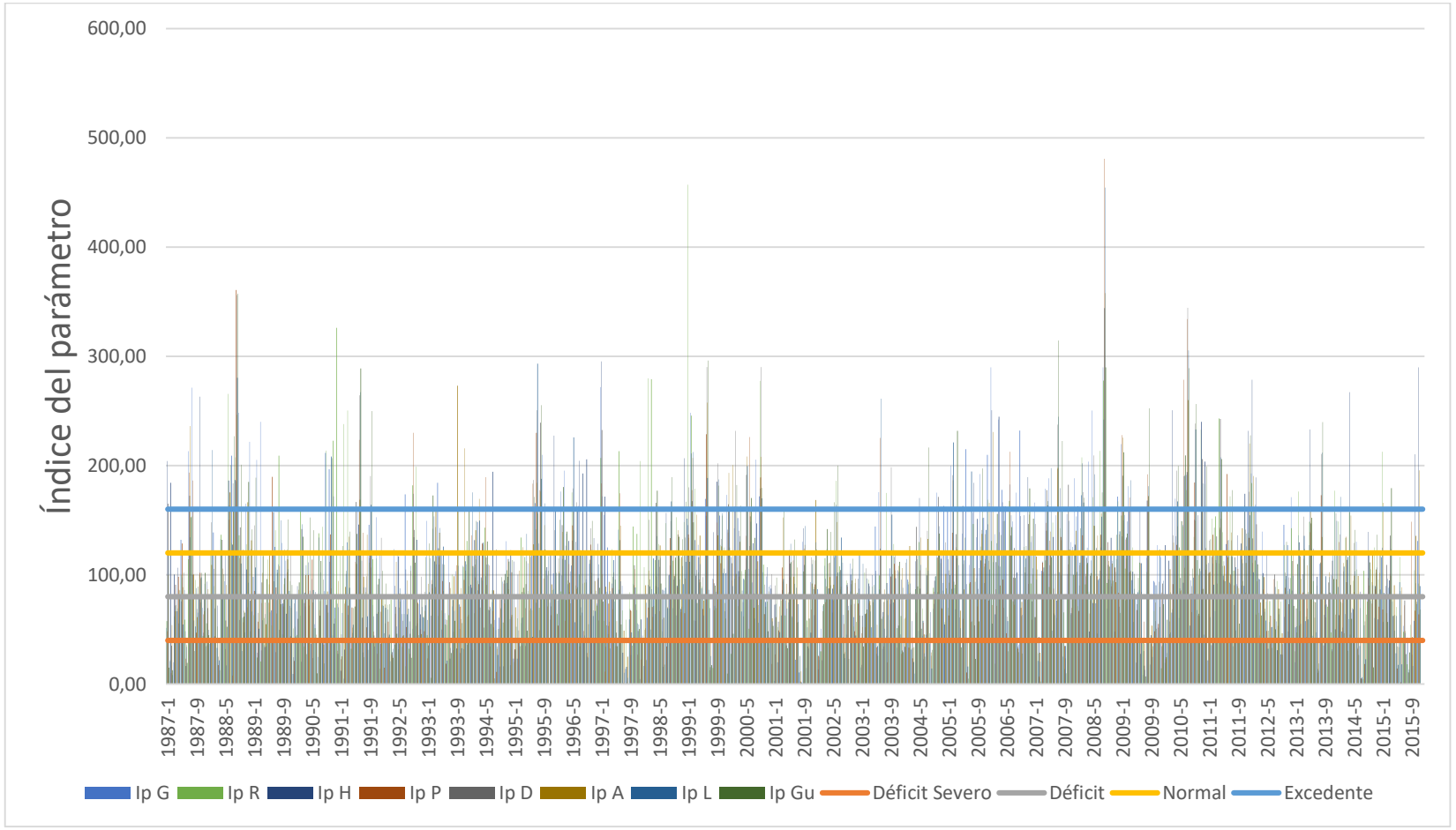
Tabla 16. Descripción Índice Puntual de anomalías.

Rango De Variación	Descripción Del Efecto
$Ip_{ij} \leq 40\%$	Déficit Severo (muy por debajo de lo normal)
$40\% < Ip_{ij} \leq 80\%$	Déficit (por debajo de lo normal)
$80\% < Ip_{ij} \leq 120\ \%$	Normal
$120\% < Ip_{ij} \leq 160\%$	Excedente (por encima de lo normal)
$Ip_{ij} > 160\%$	Excedente severo (muy por encima de lo normal)

Este índice se presenta para el elemento precipitación se presenta en la Figura 40, y para el elemento temperatura en la Figura 41.

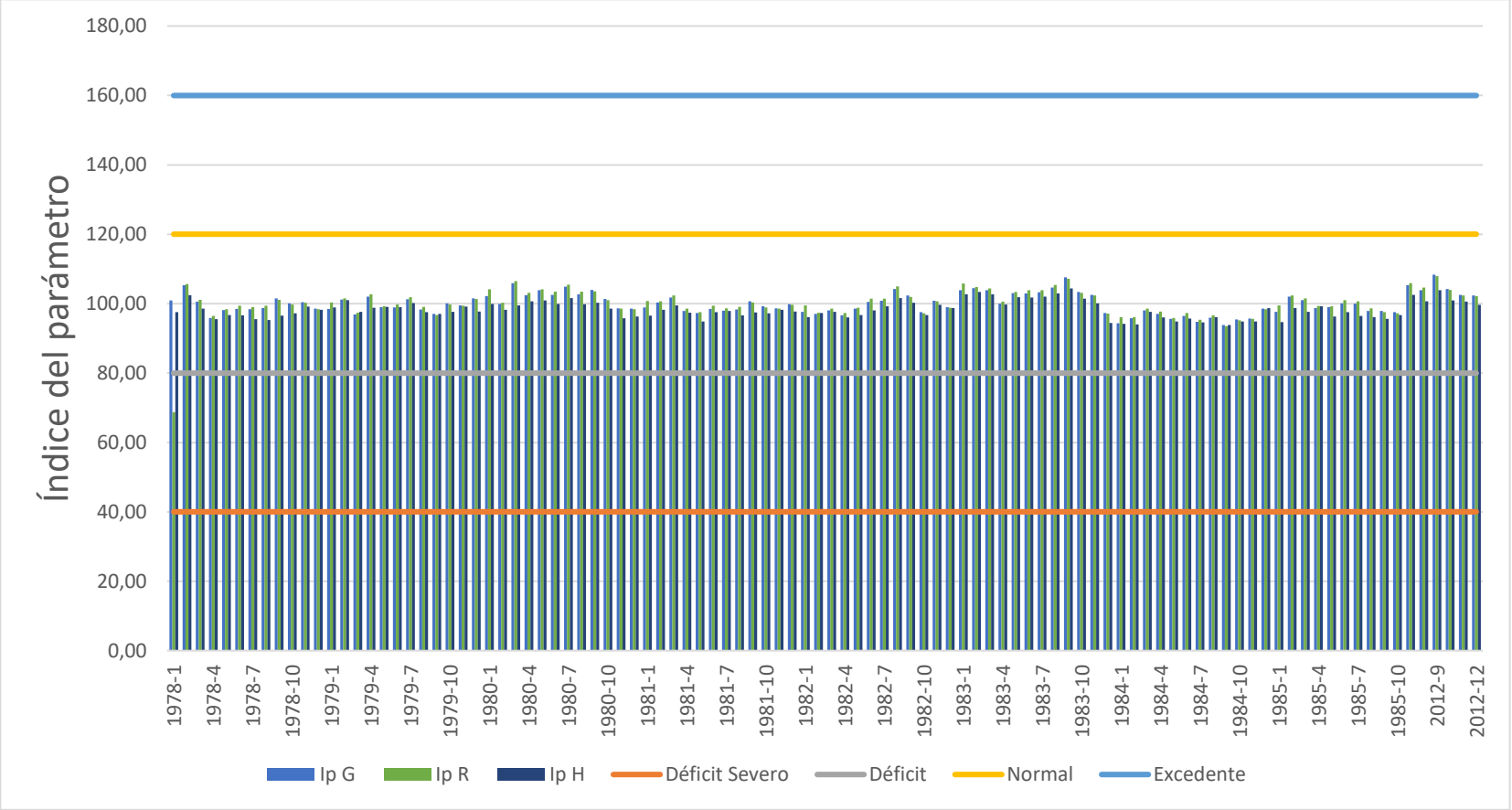
Al realizar una comparación entre los eventos clasificados como fuertes para la oscilación de episodios fríos y cálidos por temporada (fenómeno ENSO), según la información presentada por la NOAA y analizada en el ítem 4.2, existe una alta relación temporal entre el episodio y la respuesta de la cuenca Amoyá, pero la intensidad con que se desarrollan en la cuenca, tiende a ser diferente. Lo que nos

Figura 40.Índice puntual de anomalías para el elemento precipitación en la cuenca Amoyá.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 41. Índice puntual de anomalías para el elemento temperatura en la cuenca Amoyá.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Donde:

Im G	22010070	Gaitán
Im R	22070010	Roncesvalles
Im H	22050060	San José d Hermosa
Im P	22060080	Pando El
Im D	22045010	Demostración gja
Im A	22065040	San Antonio Quinta
Im L	22045020	Limón El
Im Gu	22060110	Guainí

Permite concluir que existen que esta cuenca tiene una fuerte influencia por el cambio climático general, pero tiene una capacidad de respuesta propia debido a diferentes variables que afectan el clima como son la vegetación, el tipo de suelo, la utilización del recurso hídrico, actividades humanas realizadas en la zona, entre otras.

4.3.3 Índice Acumulado.

El índice acumulado de anomalías evalúa el comportamiento a nivel trimestral de una variable dada, en este caso la precipitación, comparándola con el promedio trimestral multianual para el mismo mes y está dado por la siguiente ecuación:

$$Ip_{ij} = \frac{\sum P_{ij}}{\sum \overline{P_J}} x100$$

Donde: $Ip_{ij} =$ Índice del parámetro en el mes evaluado en el trimestre correspondiente j y el año

$P_{ij} =$ Valor del parámetro a nivel trimestral j y el año i

$\overline{P_J} =$ Promedio trimestral multianual del parámetro del mes j

Teniendo en cuenta el índice puntual de anomalías el IDEAM describe el efecto de acuerdo a los rangos mostrados en la **Tabla 17**.

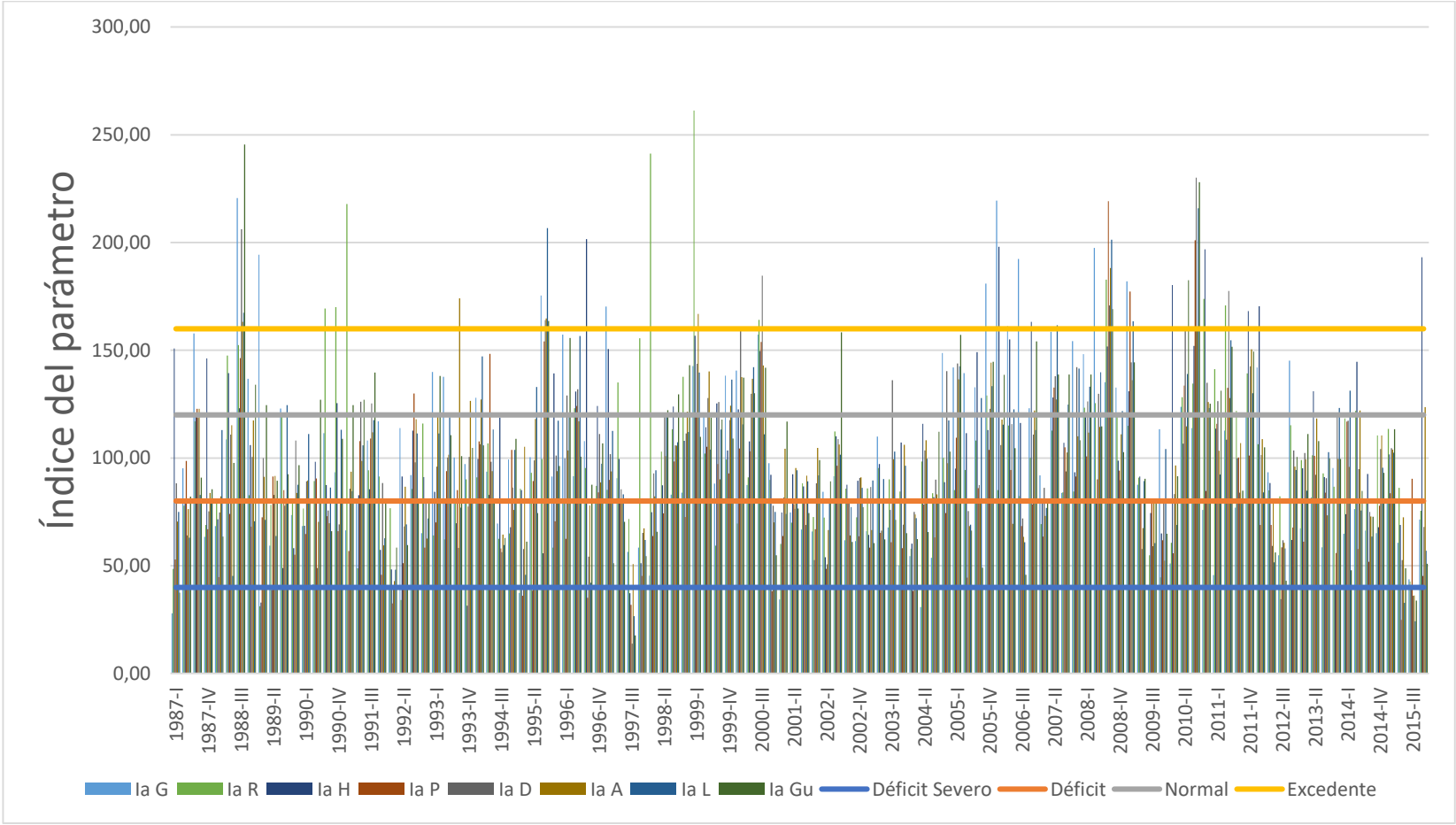
Tabla 17. Descripción Índice de acumulado de anomalías.

Rango De Variación	Descripción Del Efecto
$Ip_{ij} \leq 40\%$	Déficit Severo (muy por debajo de lo normal)
$40\% < Ip_{ij} \leq 80\%$	Déficit (por debajo de lo normal)
$80\% < Ip_{ij} \leq 120\ \%$	Normal
$120\% < Ip_{ij} \leq 160\%$	Excedente (por encima de lo normal)
$Ip_{ij} > 160\%$	Excedente severo (muy por encima de lo normal)

Este índice se presenta para el elemento precipitación se presenta en la **Figura 42**, y para el elemento temperatura en la **Figura 43**.

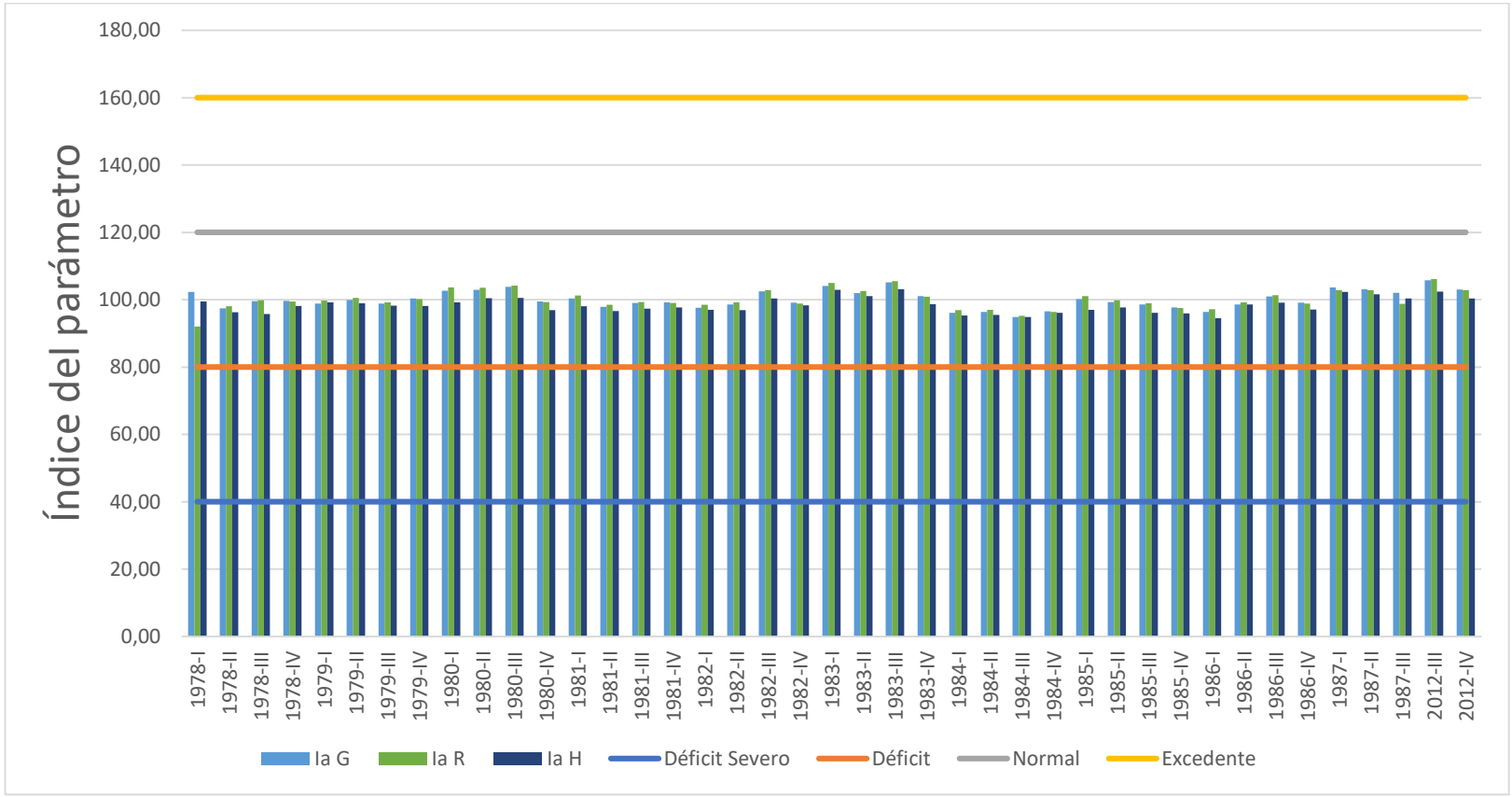
Al realizar la confrontación de este índice contra la información de la NOAA, confirma lo presentado en el Índice Puntual de Anomalías, pero realiza una mejor disgregación de la información, mostrando una temporalidad correlacionada pero desplazada temporalmente por uno o dos trimestres a nivel de precipitación, en el elemento Temperatura, la falta de información en la cuenca no permite realizar una comparación consistente.

Figura 42. Índice acumulado de anomalías para el elemento precipitación en la cuenca Amoyá.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 43. Índice acumulado de anomalías para el elemento temperatura en la cuenca Amoyá.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

5. COMPORTAMIENTO ELEMENTOS CLIMATOLÓGICOS.

A continuación, se presenta la caracterización temporal y espacial de los elementos climáticos en la cuenca hidrográfica del río Amoyá, a partir de la información registrada y suministrada por el IDEAM.

5.1 COMPORTAMIENTO DEL ELEMENTO CLIMÁTICO PRECIPITACIÓN

En términos generales se puede concluir que la densidad de estaciones que monitorean y registran los datos climáticos es insuficiente para la cuenca en estudio, pero las pocas estaciones existentes se ubican en una distribución que permite realizar una adecuada aproximación al comportamiento climático de la cuenca. En la **Tabla 18**, se presenta la presentación media mensual multianual, calculada para cada uno de los meses.

Tabla 18. Precipitación media mensual multianual, para la red de estaciones de la cuenca Amoyá.

Cod.	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
22010070	Gaitán	176,2	237,1	314,8	342,3	300,4	145,1	161,2	142,2	238,8	326,7	404,2	274,4
22070010	Roncesvalles	58,6	83,5	123,2	154,1	142,1	94,8	99,7	75,3	113,3	131,7	122,4	76,2
22050060	San José D Hermosa	74,5	73,4	126,7	173,3	159,2	139,0	160,9	115,1	123,4	144,7	129,4	77,8
22060080	Pando El	189,5	182,7	248,7	314,8	250,2	131,1	92,1	89,9	170,8	292,9	267,5	221,6
22045010	Demostración Gja	198,0	203,5	270,5	320,2	240,7	112,9	90,2	83,6	167,9	330,4	373,1	295,9
22065040	San Antonio Quinta	108,9	147,5	198,4	254,9	227,3	132,7	114,9	100,0	175,7	224,6	191,9	133,7
22045020	Limón El	258,4	246,7	305,8	374,4	286,2	112,3	101,7	90,6	171,8	340,6	417,9	336,7
22060110	Guainí	169,8	198,4	251,6	304,9	231,4	93,6	76,6	73,8	152,6	316,2	383,2	280,0

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

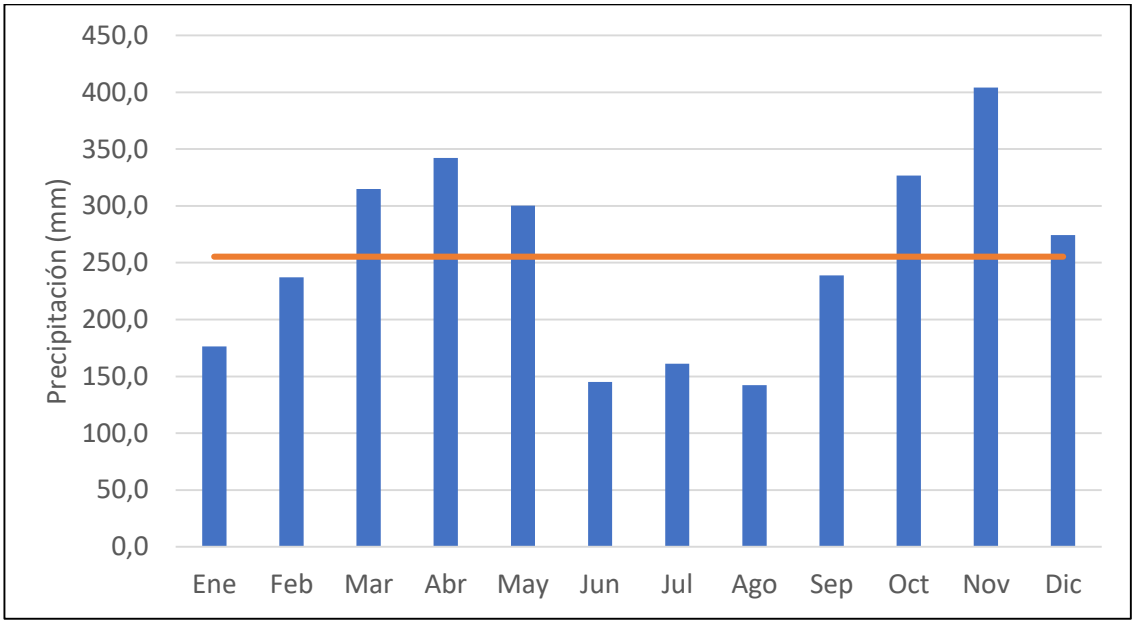
5.1.1 Distribución Temporal Del Elemento Climático Precipitación

La distribución temporal del elemento precipitación se realizó por medio de la representación gráfica, utilizando el diagrama de barras para la representación de de la variable. En este histograma se presentan en cada mes del año la precipitación media mensual, obtenida del análisis de datos de 29 años, correspondiente al periodo 1987-2015, de igual manera también se presenta el promedio anual multianual de la misma serie de datos.

En las Figuras 44 a 51, se presentan los histogramas para cada una de las estaciones; donde todas las gráficas presentan una distribución bimodal, en términos generales, se presentan dos periodos húmedos: i) El primero periodo comprendido entre los meses marzo a mayo, siendo el mes más lluviosos abril; y ii) El segundo periodo lo ubicamos entre octubre a diciembre, y el mes con mayores precipitaciones en el periodo y en general en todo el año es noviembre. Los periodos secos corresponden a: i) primer periodo, conformado por los meses enero y febrero; y ii) segundo periodo, conformado por los meses junio a septiembre.

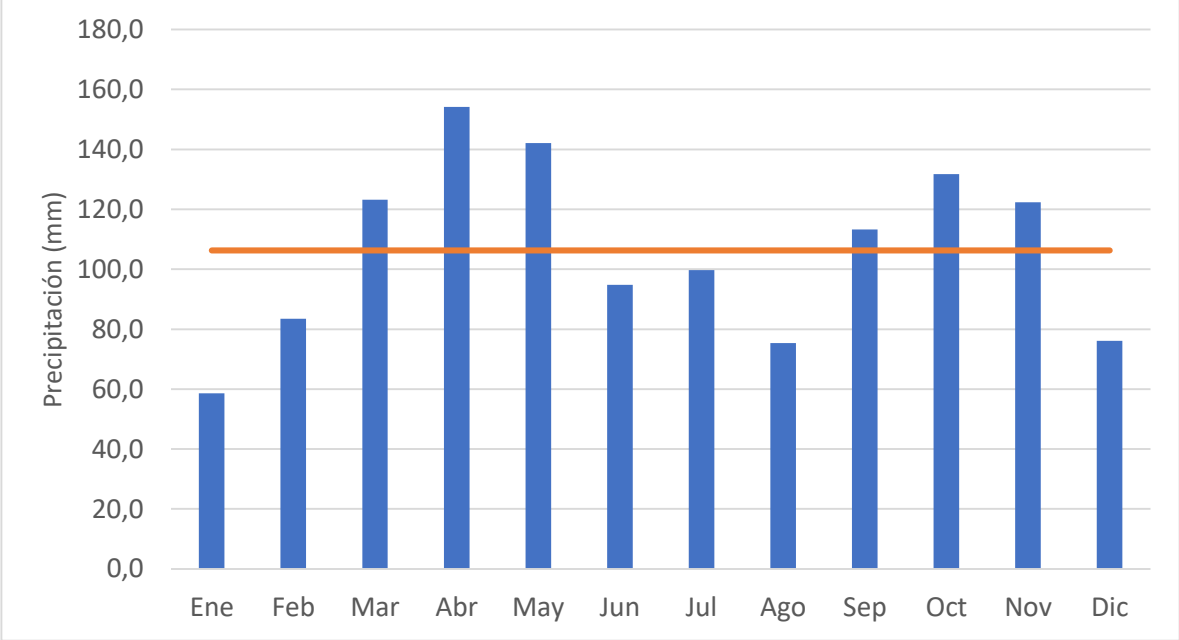
Las únicas estaciones que presentan datos anómalos son la Estación Roncesvalles (22070010) con precipitaciones sobre la media en el mes de septiembre y la Estación San José D Hermosas donde el segundo periodo seco solo está en el mes de agosto.

Figura 44. Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación pluviométrica Gaitán. Cod22010070



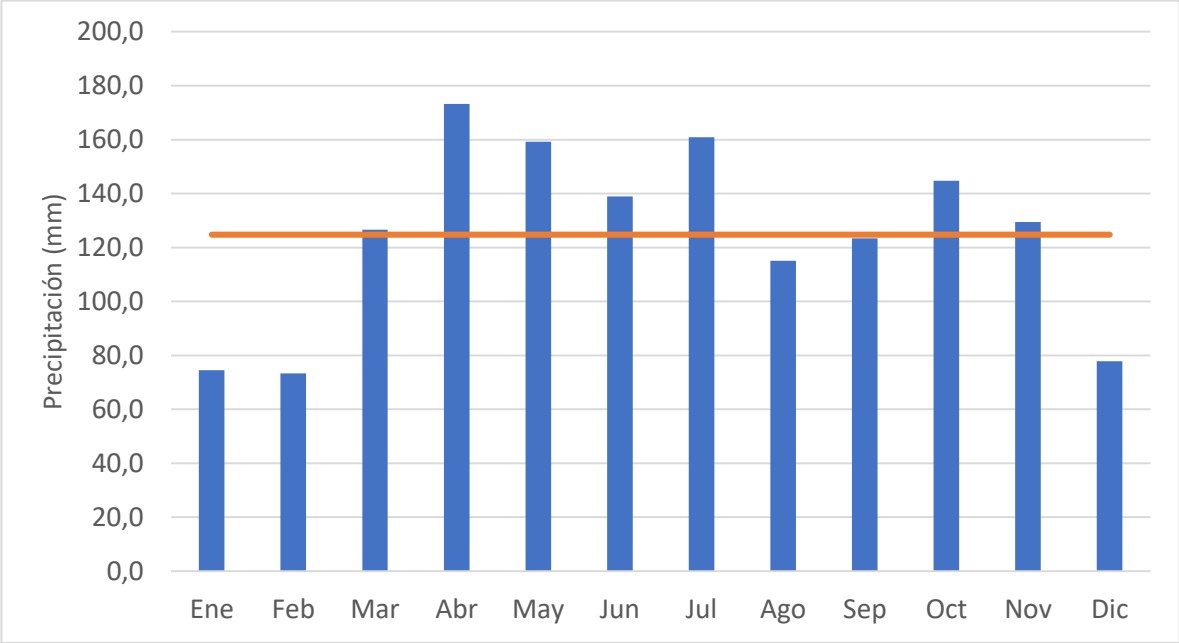
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 45. Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación pluviométrica Roncesvalles. Cod 22070010.



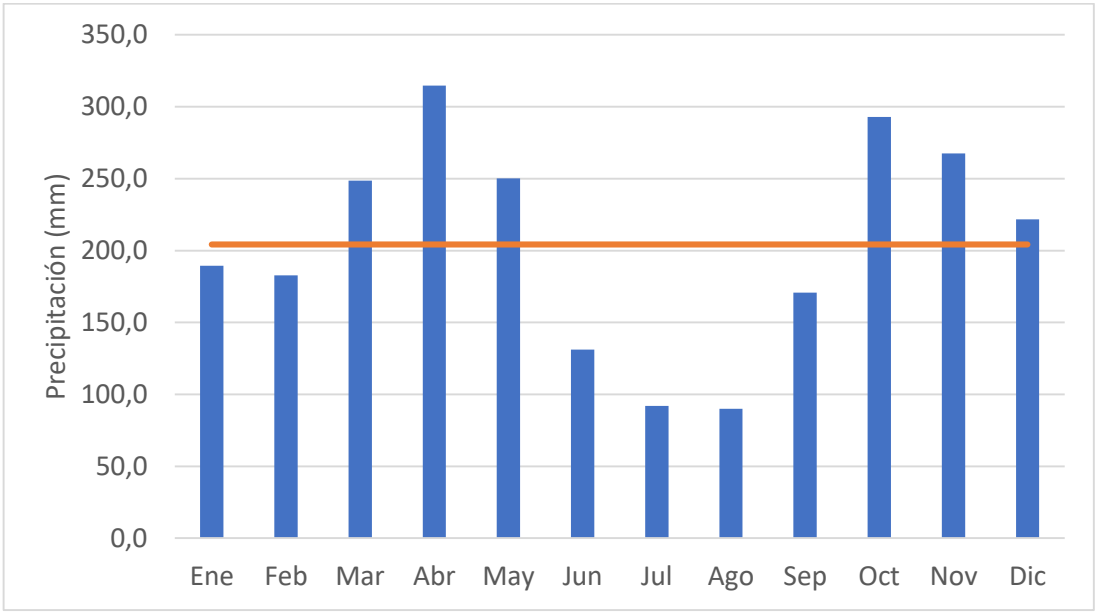
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 46. Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación Pluviográfica de San José de las Hermosas. Cod 22050060



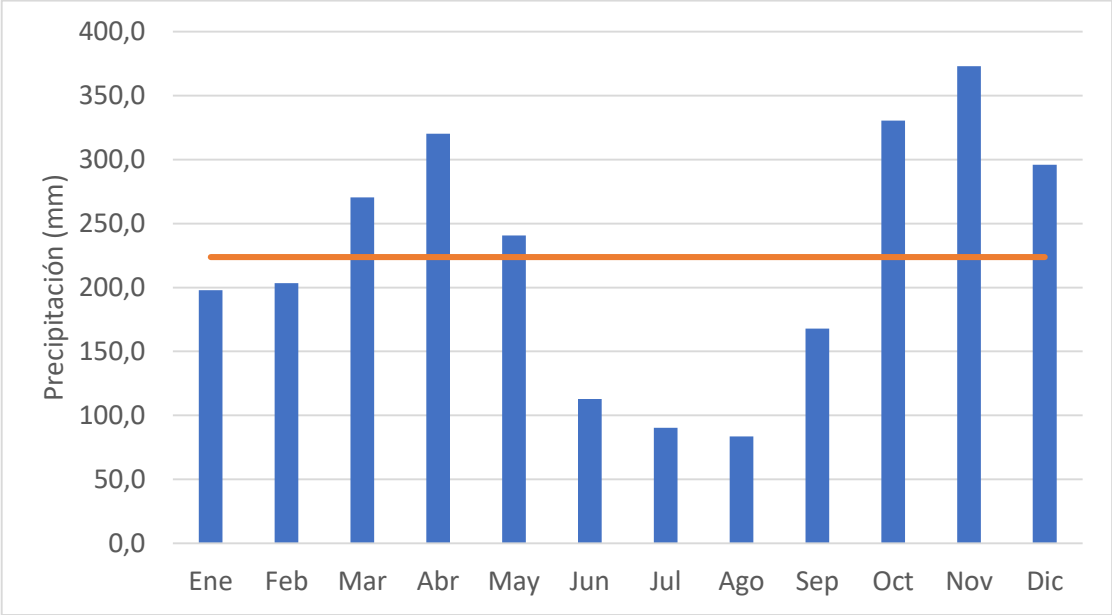
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 47 Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación pluviométrica El Pando. Cod 22060080.



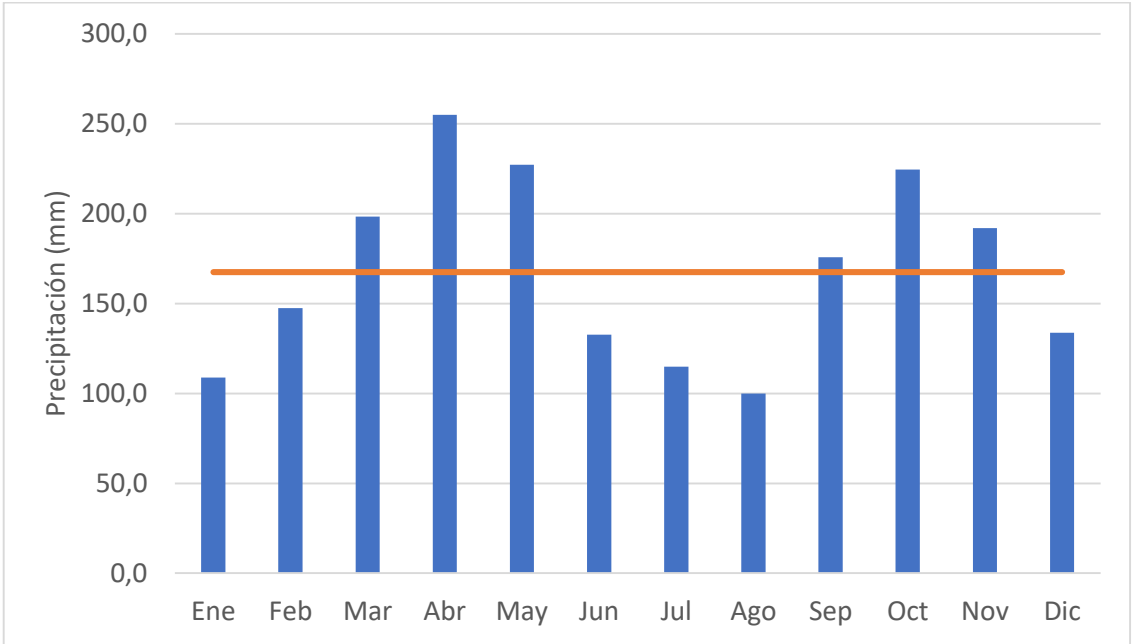
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 48. Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación Climatológica Ordinaria Granja Demostración. Cod 22045010



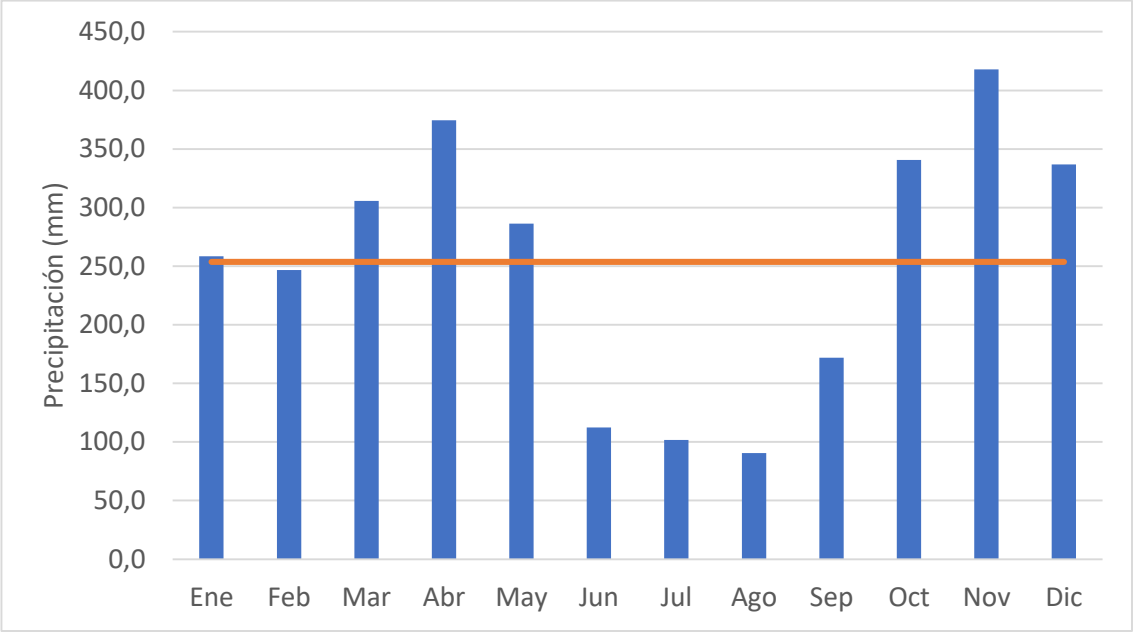
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 49. Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación Climatológica Principal San Antonio Quinta. Cod. 22065040



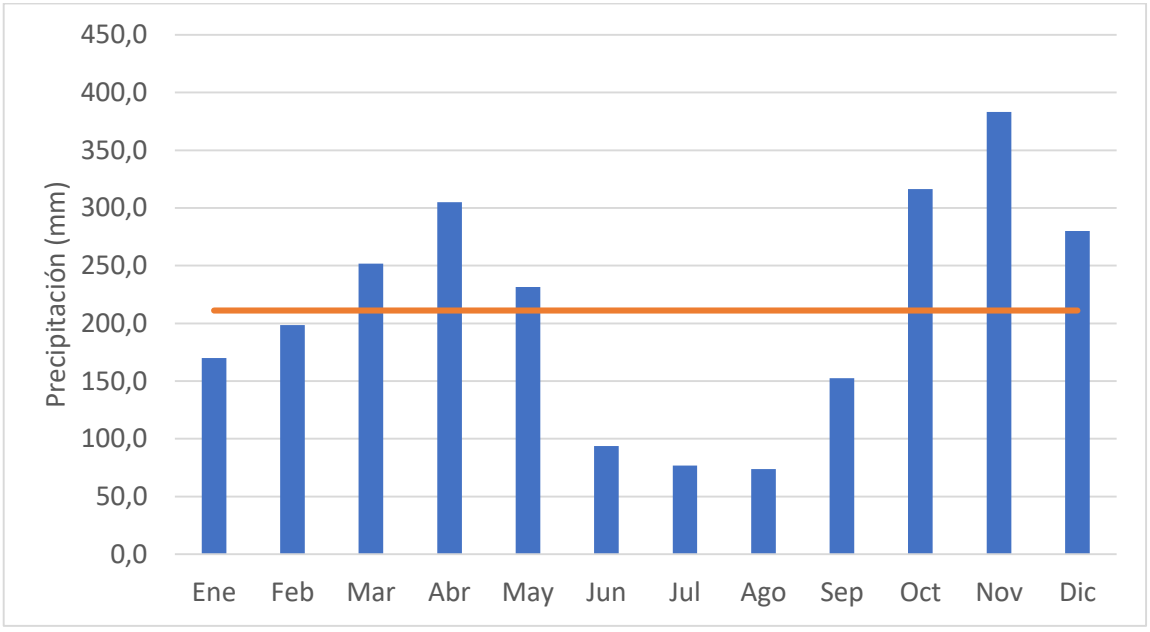
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 50. Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación Climatológica Ordinaria El Limón.cod.22045020



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 51. Histograma de precipitación media mensual a nivel multianual de la estación pluviométrica Guainí. Cod. 22060110



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

5.1.2 Distribución Espacial Del Elemento Climático Precipitación.

La interpolación espacial es un método geoestadístico que busca predecir valores Z, para un conjunto de elemento de los que se conocen los valores X y Y, en nuestro caso los valores de un conjunto de celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos de muestra. Este procedimiento se ha reconocido científicamente por su versatilidad de uso al utilizarse para predecir valores desconocidos de cualquier dato de un punto geográfico, tales como: elevación, precipitaciones, concentraciones químicas, niveles de ruido, etc.

Los principales algoritmos de interpolación son:

- *Inverse Distance Weighted - IDW*
- *Kriging*
- Vecino natural
- *Spline*
- *Spline* con barreras
- De topo a ráster

A nivel de los procesos geoestadísticos para datos faltantes en elementos climáticos, el IDEAM recomiendo la utilización del algoritmo *inverse distance weighted* - IDW (Ponderación de distancia inversa), el cual utiliza un método de interpolación que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio.
Este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra. Por ejemplo, al interpolar una superficie de poder adquisitivo de los consumidores para analizar las ventas minoristas de un sitio, el poder adquisitivo de una ubicación más distante tendrá menos influencia porque es más probable que las personas compren cerca de sus casas.

$$IDW_p = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{z_i}{d_i^P}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{d_i^P}\right)}$$

Donde: IDW_p:Es el Valor del IDW para un punto especifico.

z_i: Es el valor de Z en el Punto conocido.

d : Es el valor de la distancia entre el punto estimado y el punto conocido.

Figura **52** se presentan la Isoyetas medias multianuales para la cuenca Amoyá, donde se aprecia que los valores oscilan entre 2.800 a 1.500 mm aproximadamente. Encontrándose la mayor precipitación en la región norte y la menor en la región sur de la cuenca.

5.2 COMPORTAMIENTO DEL ELEMENTO CLIMÁTICO TEMPERATURA

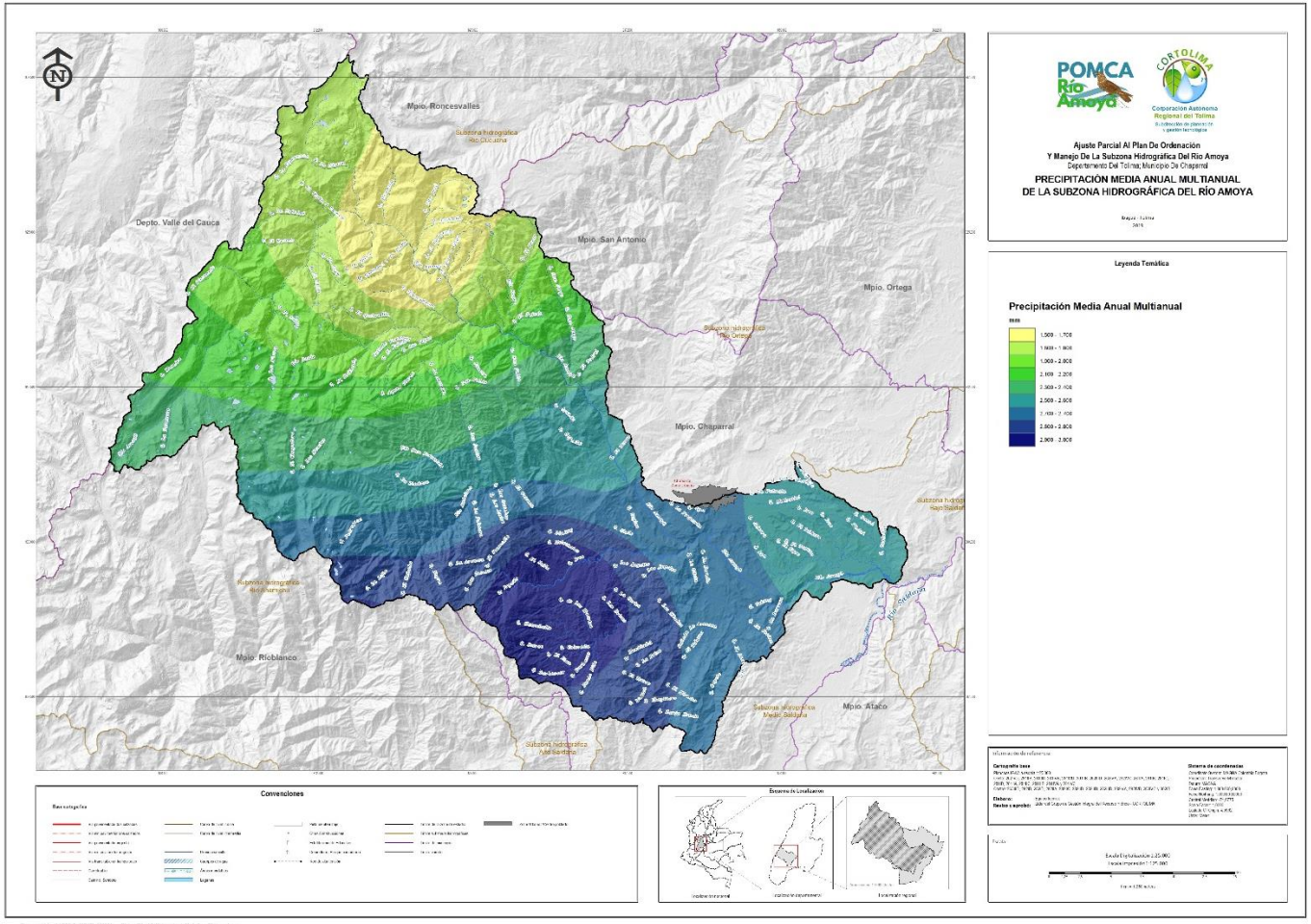
Solo tres estaciones registran datos del elemento climático de Temperatura en la cuenca Amoyá. (Ver **Tabla 19**)

Tabla 19. Temperatura media mensual multianual, para la red de estaciones de la cuenca Amoyá.

Cod.	Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.
22045010	Demostración Gja	24,1	24,3	24,2	24,3	24,4	24,7
22045020	Limón El	22,8	23,3	23,2	23,2	23,4	23,5
22065040	San Antonio Quinta	21,2	21,4	21,4	21,4	21,5	21,5

Cod.	Estación	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
22045010	Demostración Gja	24,9	25,4	25,0	23,9	23,5	23,7
22045020	Limón El	23,8	24,2	24,1	23,1	22,6	22,8
22065040	San Antonio Quinta	21,6	21,9	21,9	21,1	20,8	20,9

Figura 52. Distribución espacial de la precipitación media anual multianual, para un Periodo de registro entre 1983 – 2015



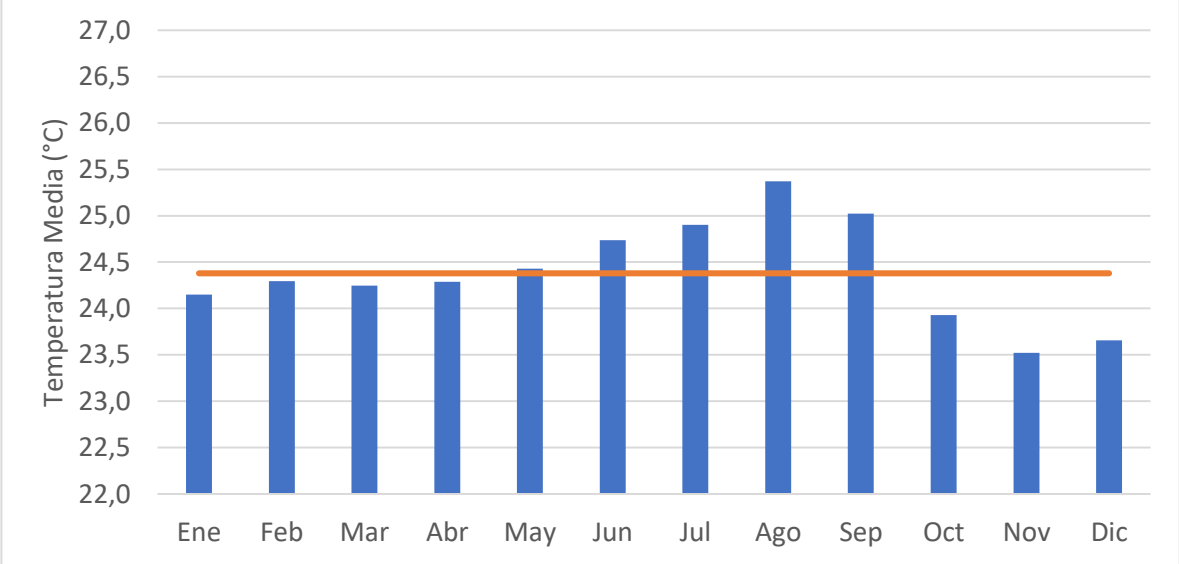
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2019.

5.2.1 Distribución Temporal Del Elemento Climático Temperatura Media.

La distribución temporal del elemento temperatura se realizó por medio de la representación del histograma, donde se presentan en cada mes del año la temperatura media mensual, obtenida del análisis de 37 años, correspondiente al periodo 1978 a 2013 y 2016 a 2017, de igual manera también se presenta el promedio anual multianual de la misma serie de datos.

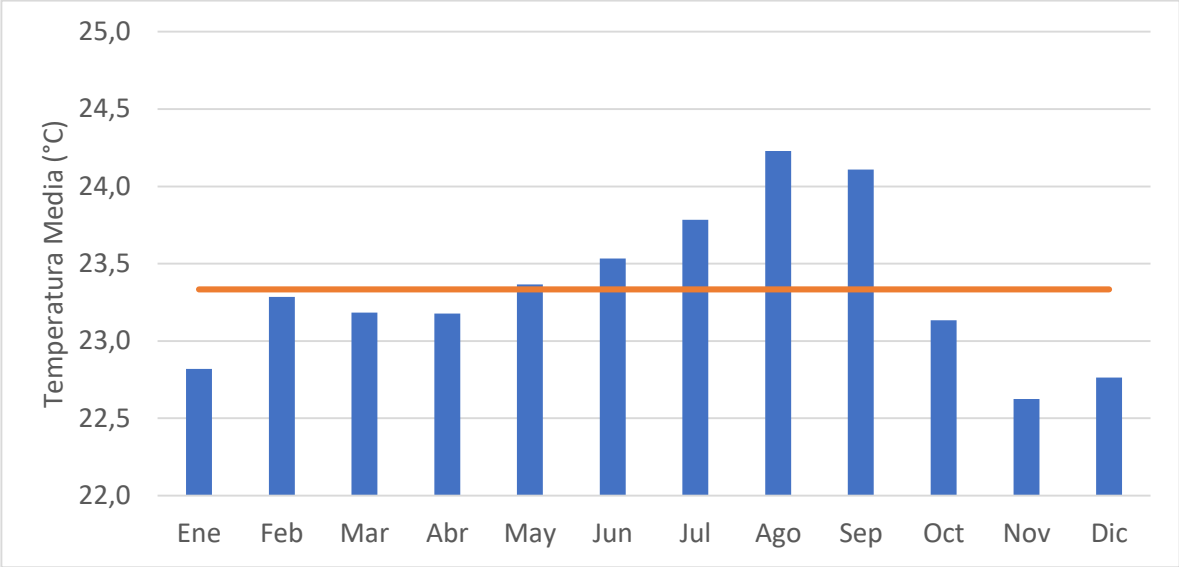
En las Figuras 53 a 55, se presentan los histogramas para cada una de las estaciones de la cuenca, también se muestran los valores promedios para cada una, siendo los valores promedio a nivel anual multianual igual a: 24,4 °C para la Estación Climatológica Ordinaria “Demostración Gja”; 23,3°C para la Estación Climatológica Ordinaria “Limón El”; y 21,4°C para la Estación Climatológica Principal “San Antonio Quinta”.

Figura 53. Histograma de Temperatura media mensual a nivel multianual de la estación Climatológica Ordinaria Granja Demostración. cod 22045010



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

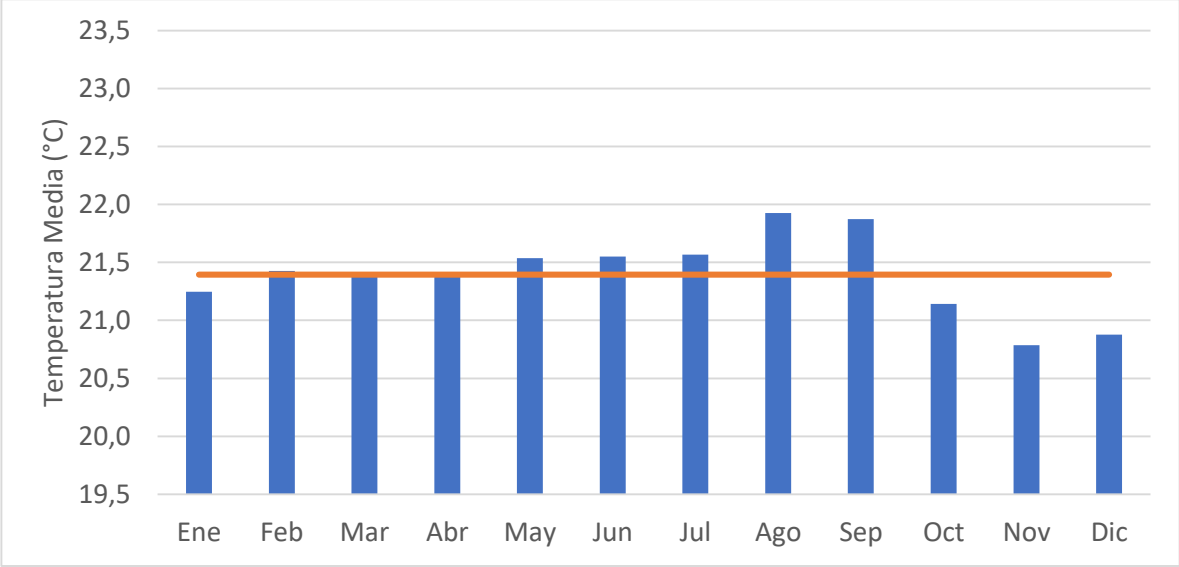
Figura 54. Histograma de temperatura media mensual a nivel multianual de la estación Climatológica Ordinaria El Limón. Cod 22045020



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 55. Histograma de temperatura media mensual a nivel multianual de la estación Climatológica Principal San Antonio Quinta cod 22065040

.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

5.2.2 Distribución Espacial De La Temperatura Media Del Aire

En el área de la cuenca al igual que en cualquier región neotropical, la temperatura del aire es variable y asociada primordialmente al cambio en elevación sobre el nivel del mar de la ubicación de las estaciones seleccionadas. Por lo cual las isotermas se trazaron a partir de la metodología de gradiente de temperatura, el cual se obtuvo a partir de las estaciones presentadas en la Tabla 20.

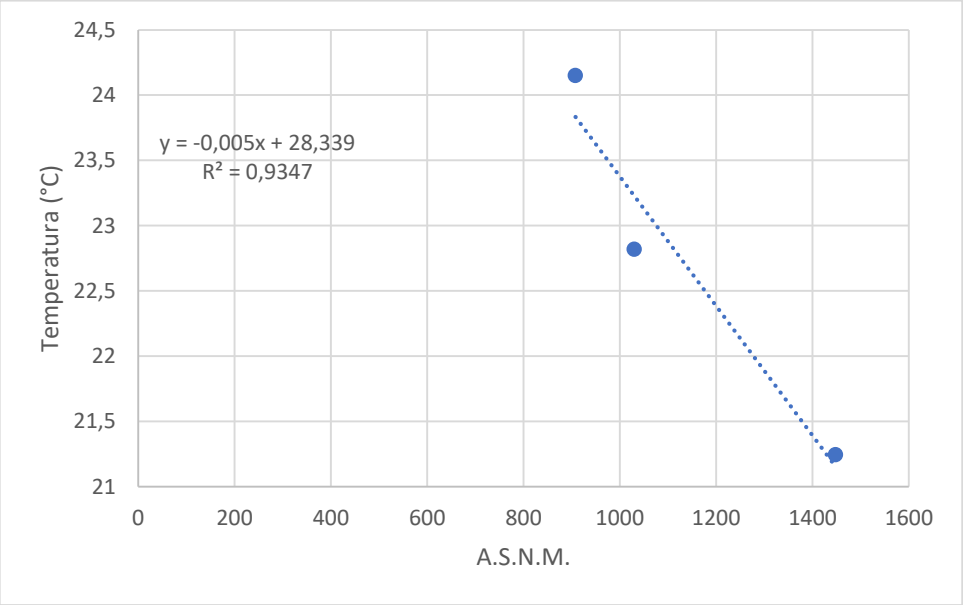
Tabla 20. Ecuaciones para la distribución espacial de la temperatura media

Mes	Ecuación	R^2
Enero	y = -0,0050x + 28,339	0,9347
Febrero	y = -0,0051x + 28,750	0,9813
Marzo	y = -0,0050x + 28,599	0,9741
Abril	y = -0,0051x + 28,657	0,9698
Mayo	y = -0,0051x + 28,871	0,9761
Junio	y = -0,0056x + 29,601	0,9725
Julio	y = -0,0059x + 30,133	0,9859
Agosto	y = -0,0062x + 30,788	0,9870
Septiembre	y = -0,0057x + 30,112	0,9953
Octubre	y = -0,0051x + 28,446	0,9959
Noviembre	y = -0,0049x + 27,835	0,9880
Diciembre	y = -0,0050x + 28,057	0,9894
Total	y = -0,0053x + 29,016	0,9818

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

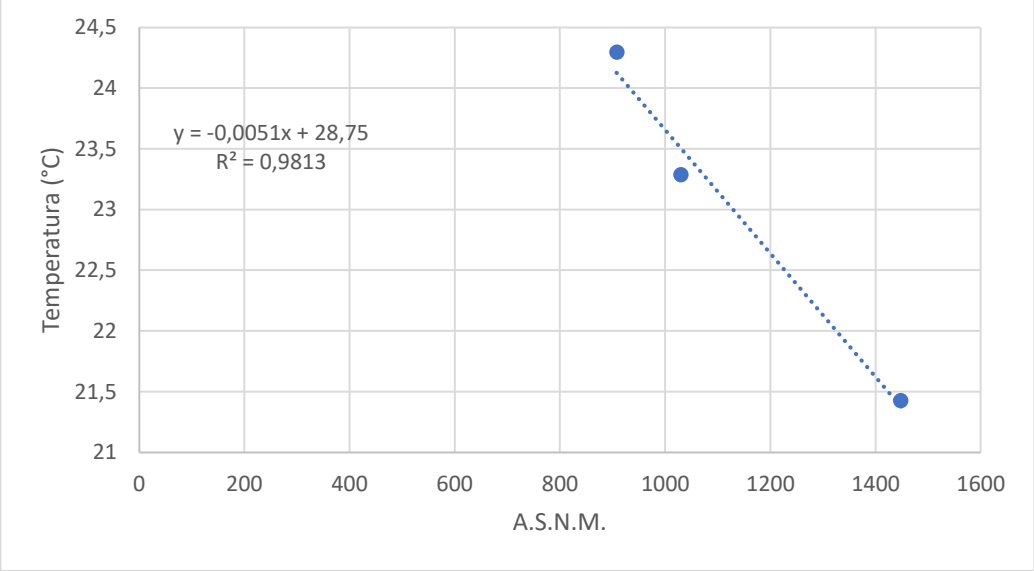
En las Figuras 56 a 68, se muestran las gráficas de ajuste y las pendientes de la recta que permitieron comprobar la precisión de la metodología del gradiente altitudinal. Cada una de estas ecuaciones se utilizó para la generación de las isotermas a partir del modelo digital de Elevación – MDE, en la **Figura 69**.

Figura 56 Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de enero en la cuenca Amoyá.



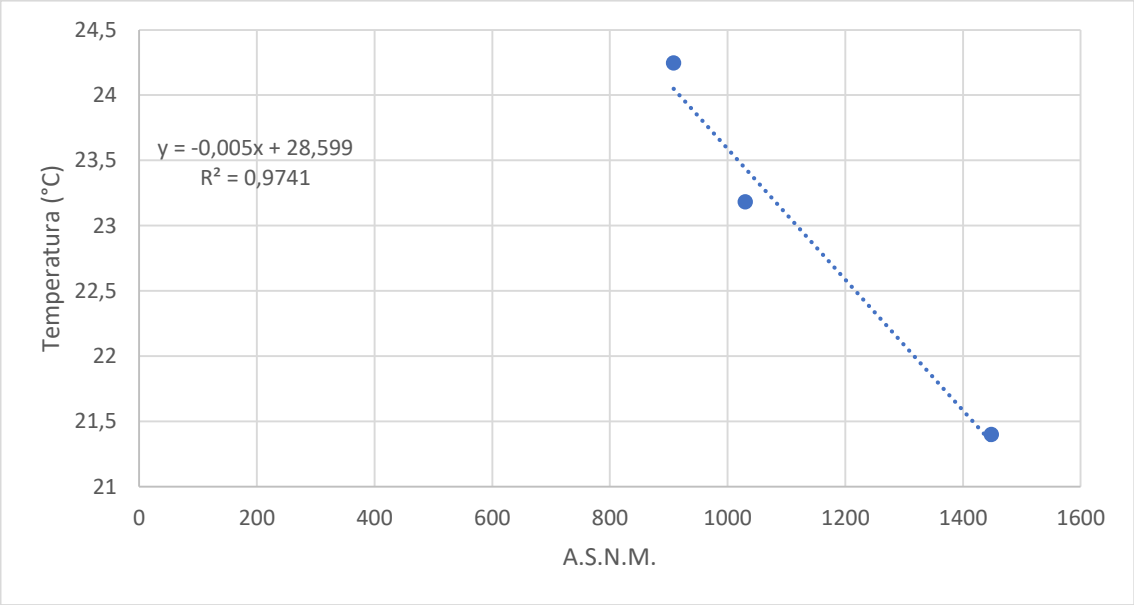
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 57. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de febrero en la cuenca Amoyá.



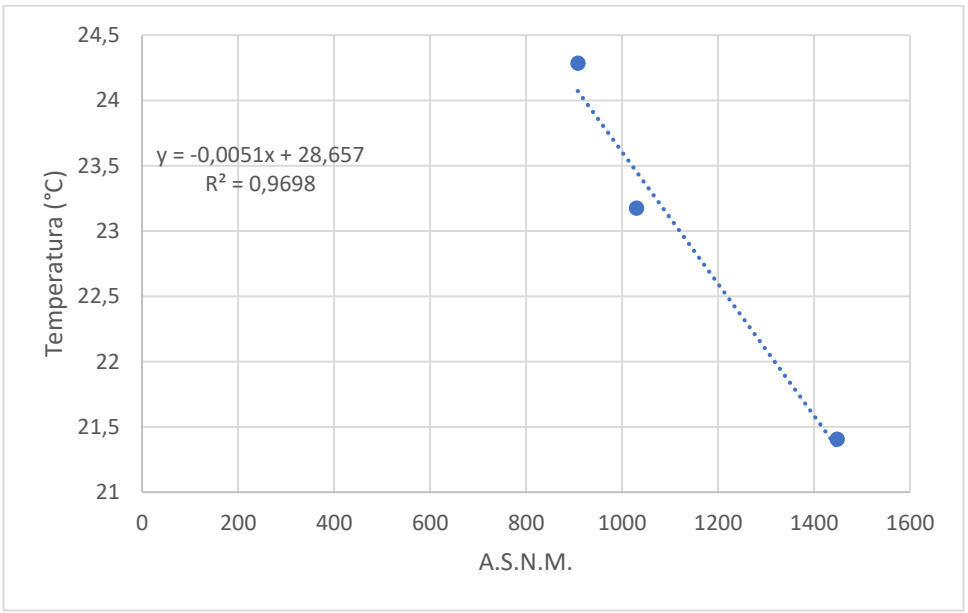
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 58. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de marzo en la cuenca Amoyá.



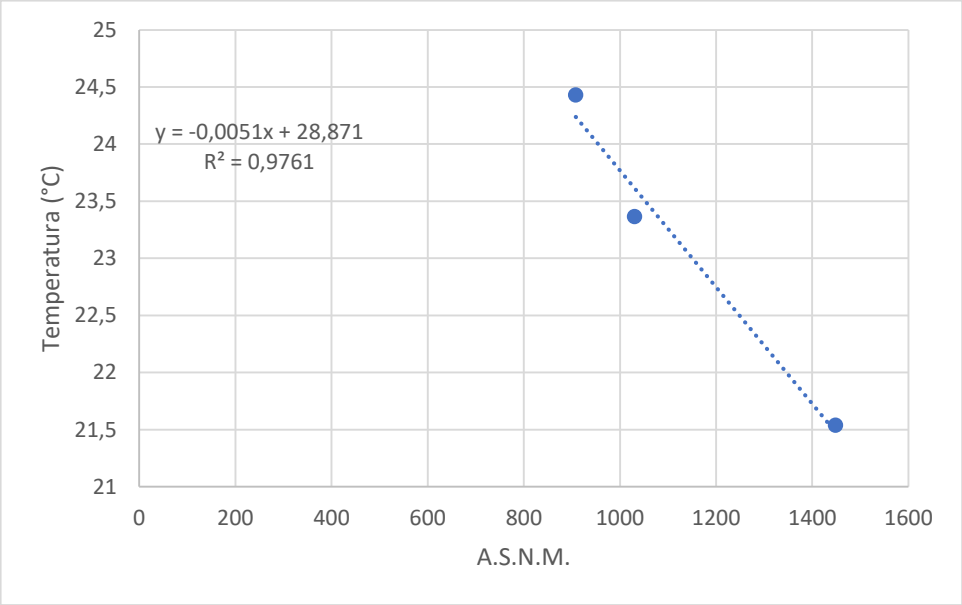
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 59. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de abril en la cuenca Amoyá.



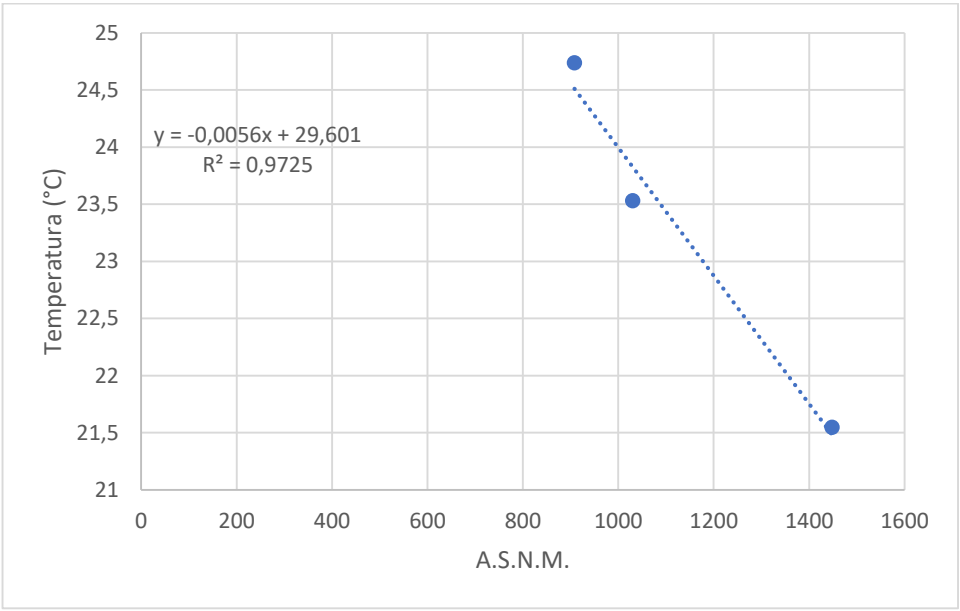
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 60. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de mayo en la cuenca Amoyá.



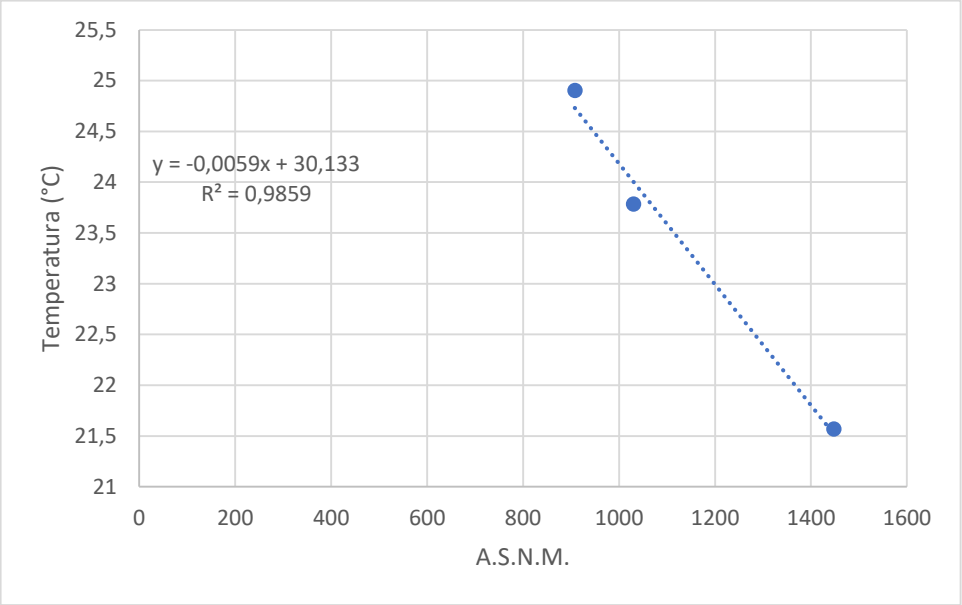
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 61. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de junio en la cuenca Amoyá.



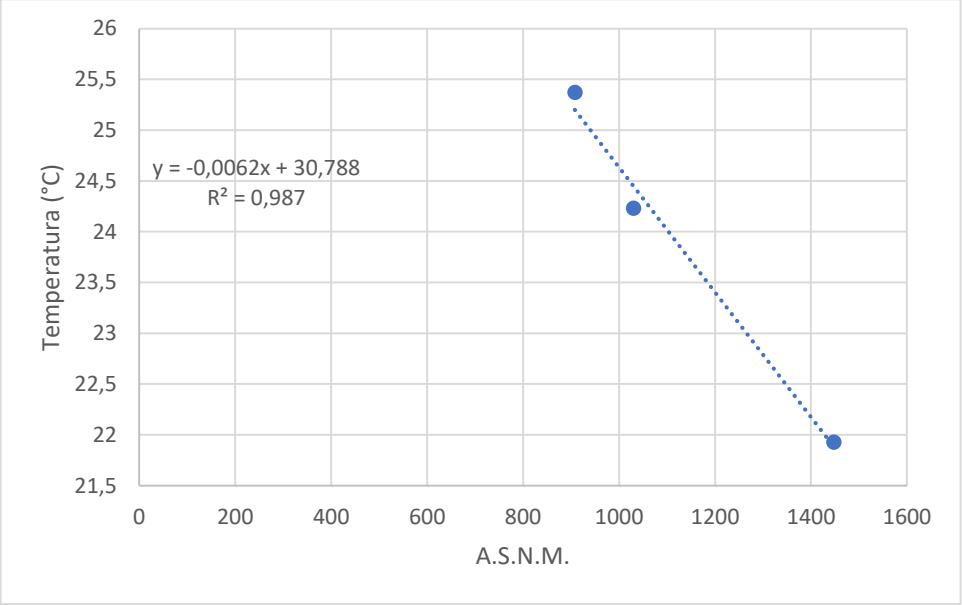
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 62. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de julio en la cuenca Amoyá.



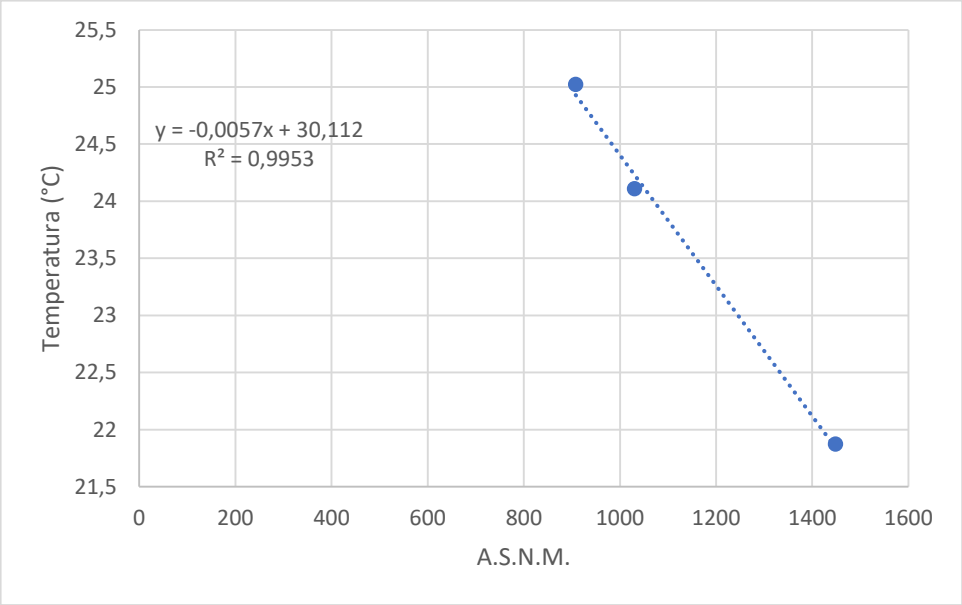
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 63. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de agosto en la cuenca Amoyá.



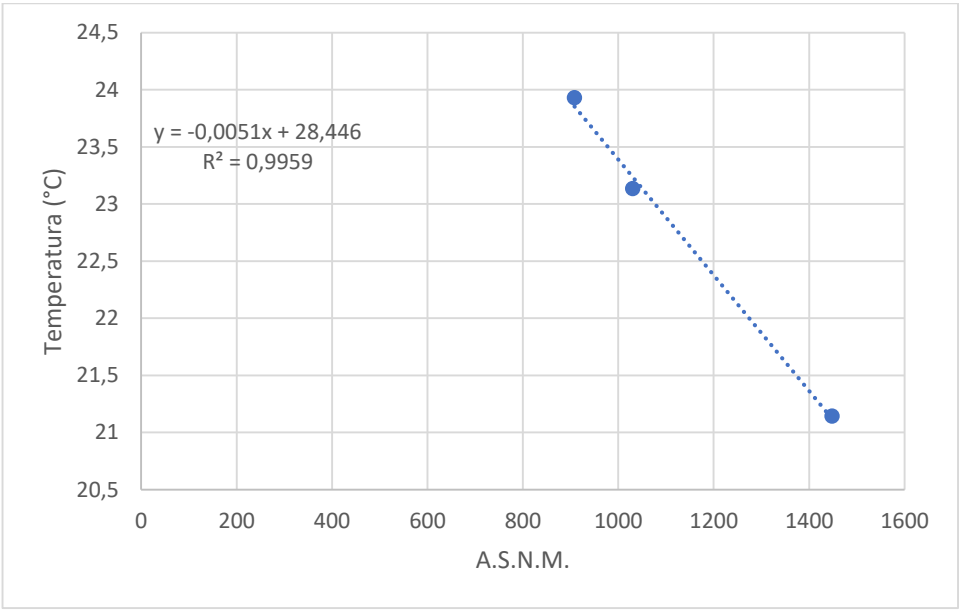
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 64. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de septiembre en la cuenca Amoyá.



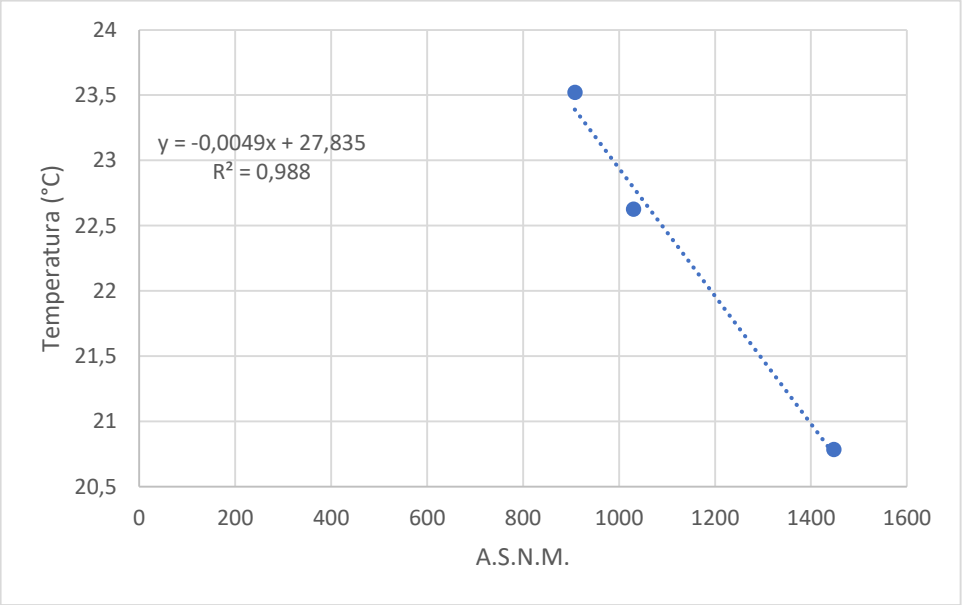
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 65. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de octubre en la cuenca Amoyá.



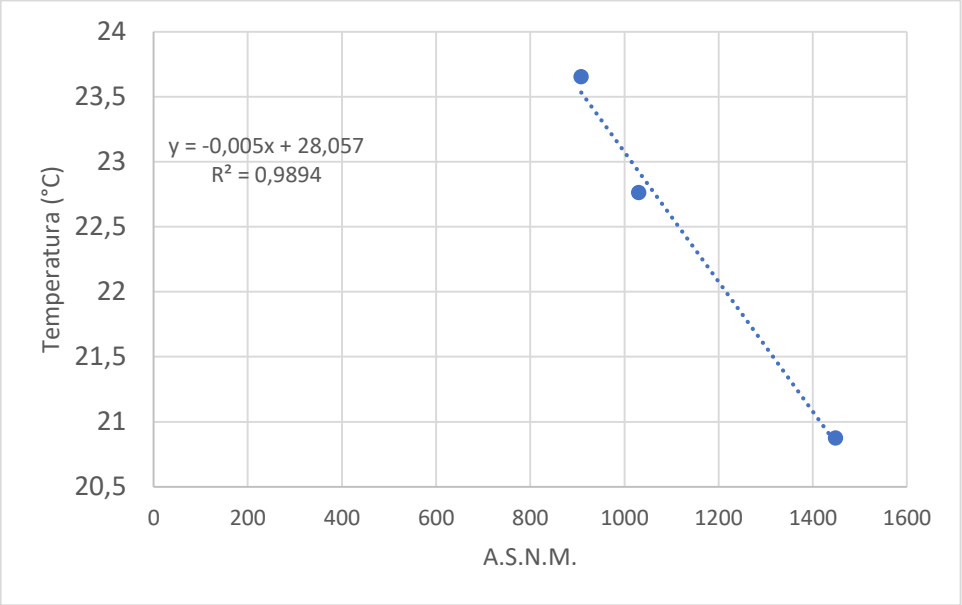
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 66. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de noviembre en la cuenca Amoyá.



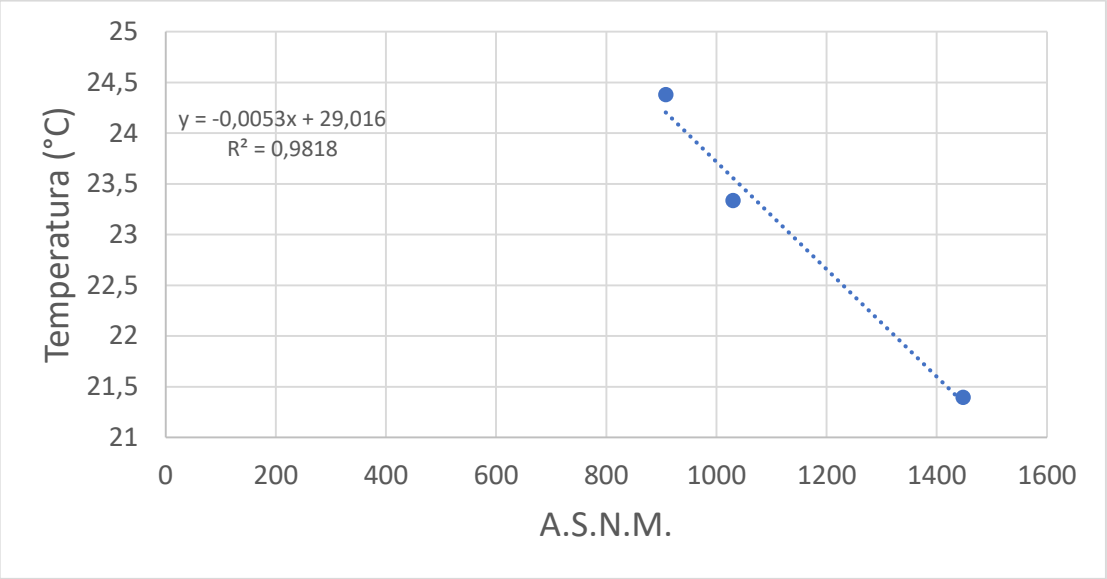
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 67. Gradiente de temperatura media mensual, promedio multianual de mes de diciembre en la cuenca Amoyá.



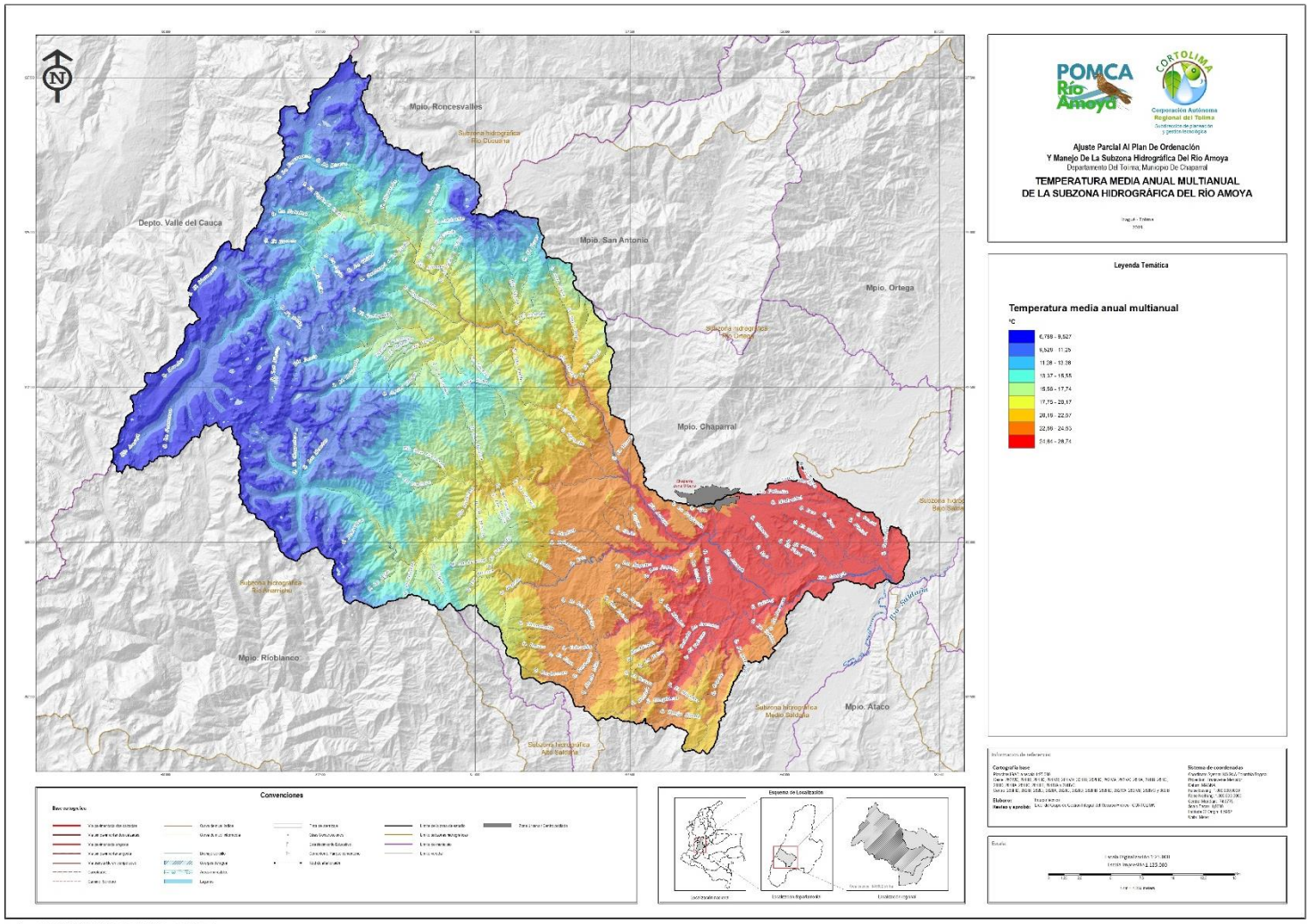
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 68. Gradiente de temperatura media, promedio multianual de la cuenca Amoyá.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 69. Mapa de temperatura media, promedio multianual de la cuenca Amoyá.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2019.

5.2.3 Distribución Temporal Del Elemento Climático Temperatura Máxima Media Mensual.

Para realizar la distribución espacial del elemento climático de Temperatura máxima promedio, se tomaron las tres estaciones que registran esta variable en el área de influencia de la cuenca (Estación climatológica ordinaria El Limón, Estación climatológica ordinaria Demostración la granja, y Estación climatológica principal San Antonio Quinta). Al realizar el análisis de las series se determinaron los siguientes parámetros (Tabla 19).

Posteriormente se procedió a realizar el análisis de cantidad de años con información de Temperatura máxima promedio, registrada a nivel inter estacional, (ver **Tabla 22**), donde se determina que no existe consistencia temporal entre las series, ya que solo existen siete (07) años con información registrada simultáneamente por las tres estaciones, por lo cual no es posible calcular el elemento climático de Temperatura Máxima.

Tabla 21. Característica de las series registradas de Temperatura máxima.

Ítems	Demostración La Granja	El Limón	San Antonio Quinta
Año inicial de registro	1978	1987	1982
Año final de registro	2017	2017	2017
Cantidad de años con registro	40	31	36
Cantidad de meses esperados	480	372	432
Cantidad Meses registrados (Porcentaje de registro)	306 (64%)	262 (70%)	316 (73%)
Cantidad de años con registro superior al 75%	24 (60%)	20 (65%)	26 (72%)

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Tabla 22. Análisis inter-estacional del elemento climático de Temperatura Máxima

Código	Estación	a.s.n.m.	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
22045010	DEMOSTRACIÓN GJA	1.040																				
22045020	LIMÓN EL	1.000																				
22065040	SAN ANTONIO QUINTA	1.500																				

Código	Estación	a.s.n.m.	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
22045010	DEMOSTRACIÓN GJA	1.040																				
22045020	LIMÓN EL	1.000																				
22065040	SAN ANTONIO QUINTA	1.500																				

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

5.2.4 Distribución Temporal Del Elemento Climático Temperatura Mínima Media Mensual.

Para realizar la distribución temporal del elemento climático de Temperatura mínima promedio, se tomaron las tres estaciones que registran esta variable en el área de influencia de la cuenca (Estación climatológica ordinaria El Limón, Estación climatológica ordinaria Demostración la granja, y Estación climatológica principal San Antonio Quinta). Al realizar el análisis de las series se determinaron los siguientes parámetros (Tabla 23).

Tabla 23. Característica de las series registradas de Temperatura máxima.

Ítems	Demostración La Granja	El Limón	San Antonio Quinta
Año inicial de registro	1978	1987	1982
Año final de registro	2017	2017	2017
Cantidad de años con registro	40	31	36
Cantidad de meses esperados	480	372	432
Cantidad Meses registrados (Porcentaje de registro)	411 (86%)	261 (70%)	265 (61%)
Cantidad de años con registro superior al 75%	34 (85%)	22 (71%)	21 (58%)

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Posteriormente se procedió a realizar el análisis de cantidad de años con información de Temperatura mínima promedio, registrada a nivel inter estacional, (ver **Tabla 24**), donde se determina que existe traslape temporal en 12 años, por lo cual es posible realizar la distribución espacial de la información.

La distribución de este elemento se calculó sobre los siguientes lineamientos:

- La Temperatura mínima media mensual: Se obtiene del promedio de las temperaturas mínimas diarias observadas durante un mes dado, ya sea en un año determinado o en un período determinado de años.

Tabla 24. Análisis inter-estacional del elemento climático de Temperatura Mínima.

Código	Estación	a.s.n.m.	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
22045010	DEMOSTRACIÓN GJA	1.040																				
22045020	LIMÓN EL	1.000																				
22065040	SAN ANTONIO QUINTA	1.500																				

Código	Estación	a.s.n.m.	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
22045010	DEMOSTRACIÓN GJA	1.040																				
22045020	LIMÓN EL	1.000																				
22065040	SAN ANTONIO QUINTA	1.500																				

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

- Trewin (2001) estableció, si se perdía un día de observación a la semana y si el valor del día siguiente se acumulaba sobre los dos días, se producía una variación típica de 0,1 a 0,3ºC en la temperatura mínima, y en algunos casos puede superar 0,4ºC. Cuando faltaban dos días por semana, estas variaciones aumentaban hasta una variación típica entre 0,2 y 0,6ºC.
- Las Variaciones de la Temperatura mínima media mensual, es un evento que requiere procesos estadísticos complejos para poder ser calculado y/o simulado, por lo cual es preferible la utilización de las series con datos faltantes.

Una vez obtenida la información de Temperatura mínima media mensual, y comprobada su consistencia se procedió a obtener los valores medios mensuales multianuales (Ver **Tabla 25** y **Figura70**)

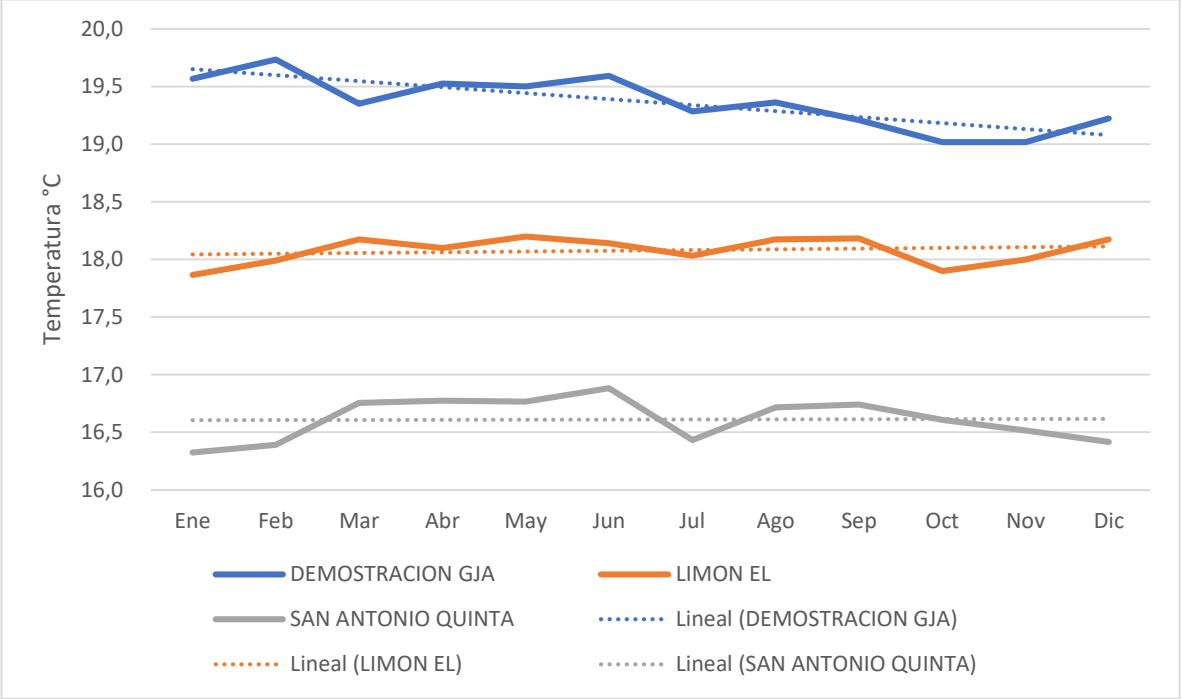
Tabla 25. Valores del elemento climático de Temperatura mínima media mensual.

Código	Estación	a.s.n.m.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
22045010	DEMOSTRACIÓN GJA	1.040	19,6	19,7	19,4	19,5	19,5	19,6
22045020	LIMÓN EL	1.000	17,9	18,0	18,2	18,1	18,2	18,1
22065040	SAN ANTONIO QUINTA	1.500	16,3	16,4	16,8	16,8	16,8	16,9

Código	Estación	a.s.n.m.	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
22045010	DEMOSTRACIÓN GJA	1.040	19,3	19,4	19,2	19,0	19,0	19,2
22045020	LIMÓN EL	1.000	18,0	18,2	18,2	17,9	18,0	18,2
22065040	SANANTONIO QUINTA	1.500	16,4	16,7	16,7	16,6	16,5	16,4

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura70.Elemento climático de Temperatura mínima mediamensual, para la cuenca Amoyá.

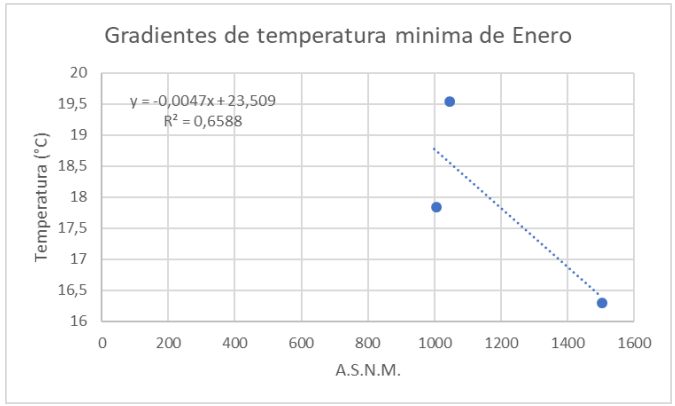


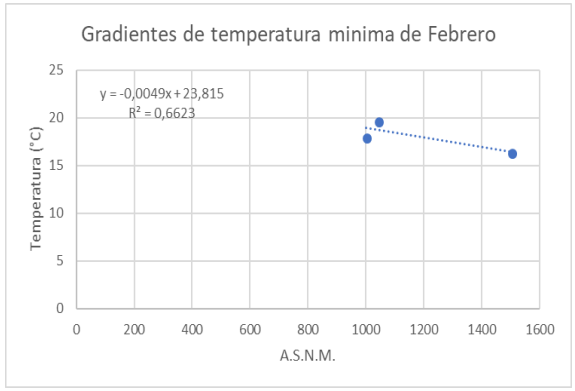
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

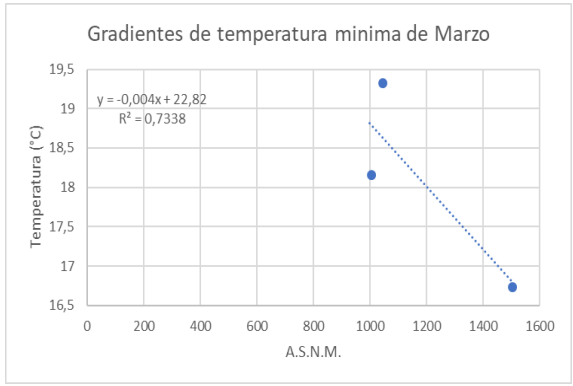
5.2.5 Distribución espacial del elemento climático temperatura mínima media mensual.

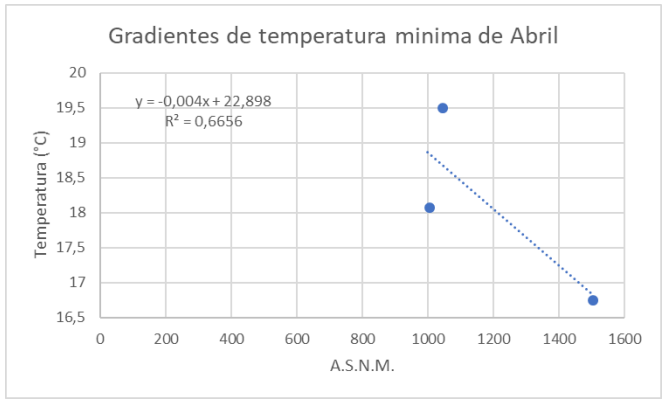
El estudio de los elementos climáticos por correlación espacial, por medio de métodos geoestadísticos, surgió a partir de los años sesenta, especialmente con el propósito de predecir valores de las variables en sitios no muestreados (Giraldo, 2002). En este caso, teniendo en cuenta los factores que pueden afectar las mediciones de temperatura realizadas en las distintas estaciones, se presentan la especialización de la Temperatura.

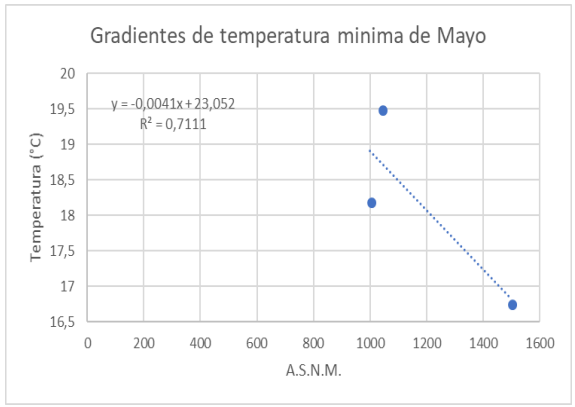
Figura 71. Gráficas mensuales del gradiente altitudinal para Temperatura mínima media mensual.

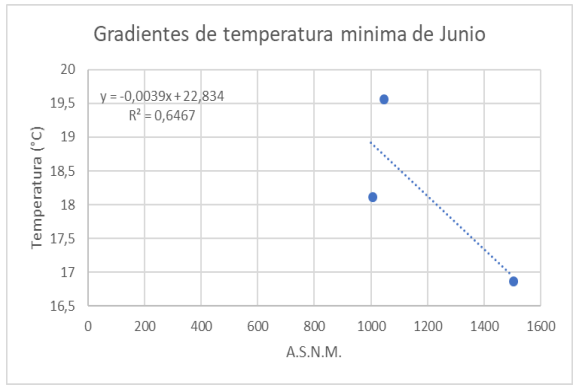


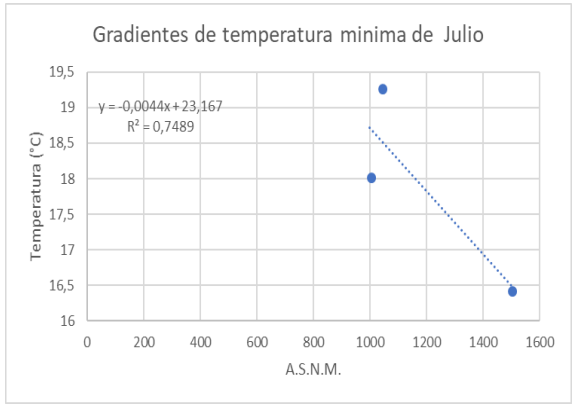


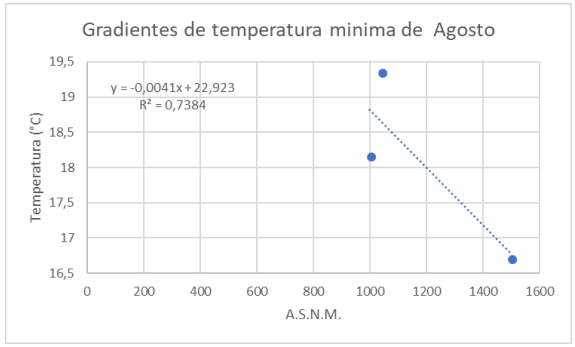


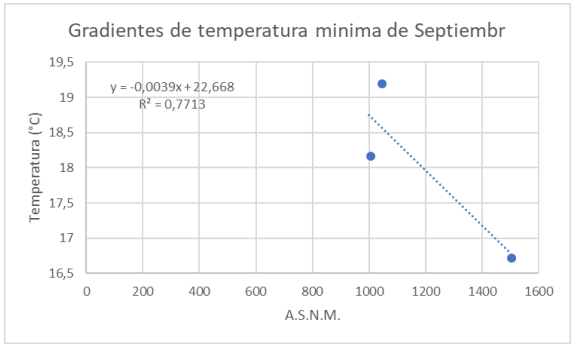


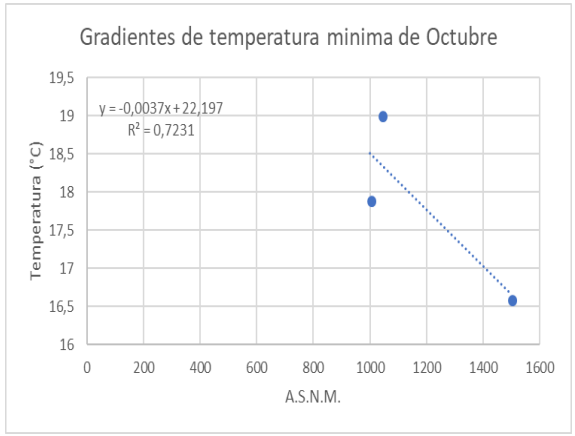


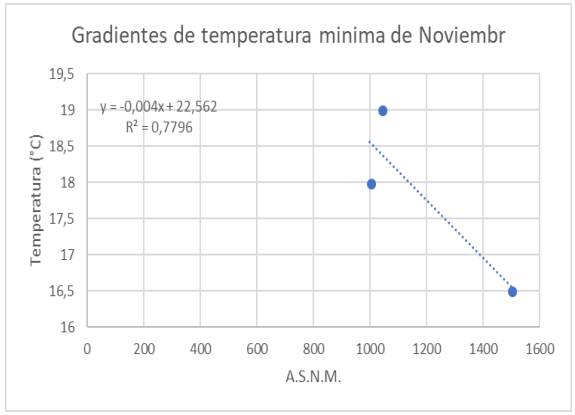


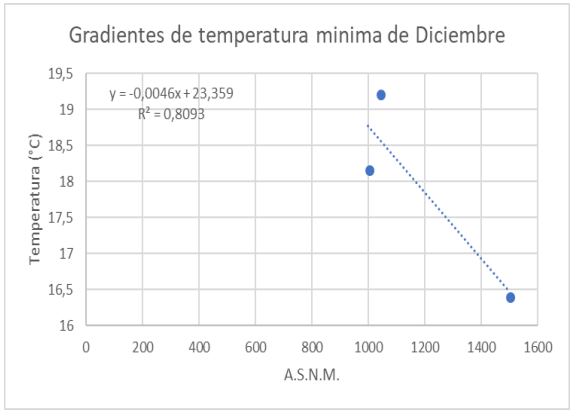






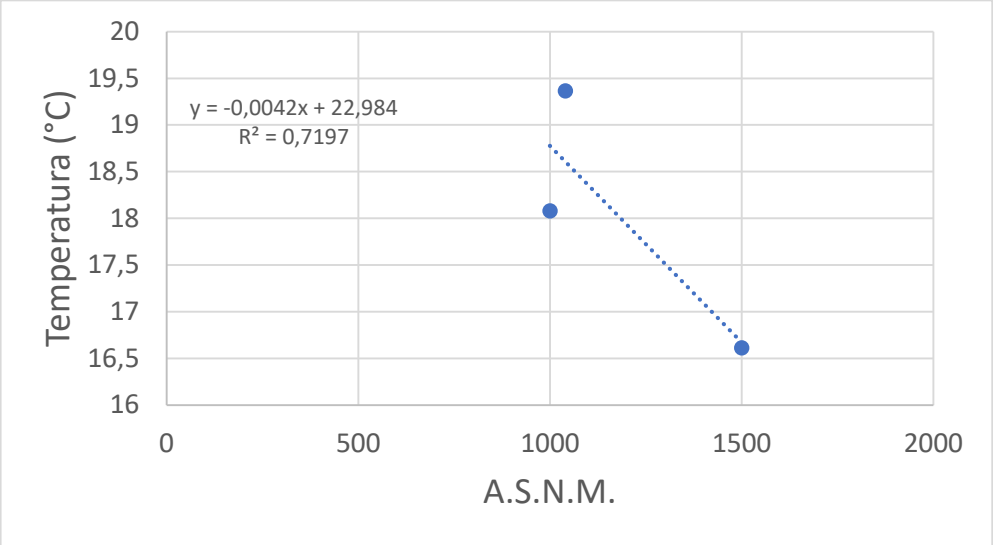






Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 72. Gráfica Anual del gradiente altitudinal para Temperatura mínima media mensual.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

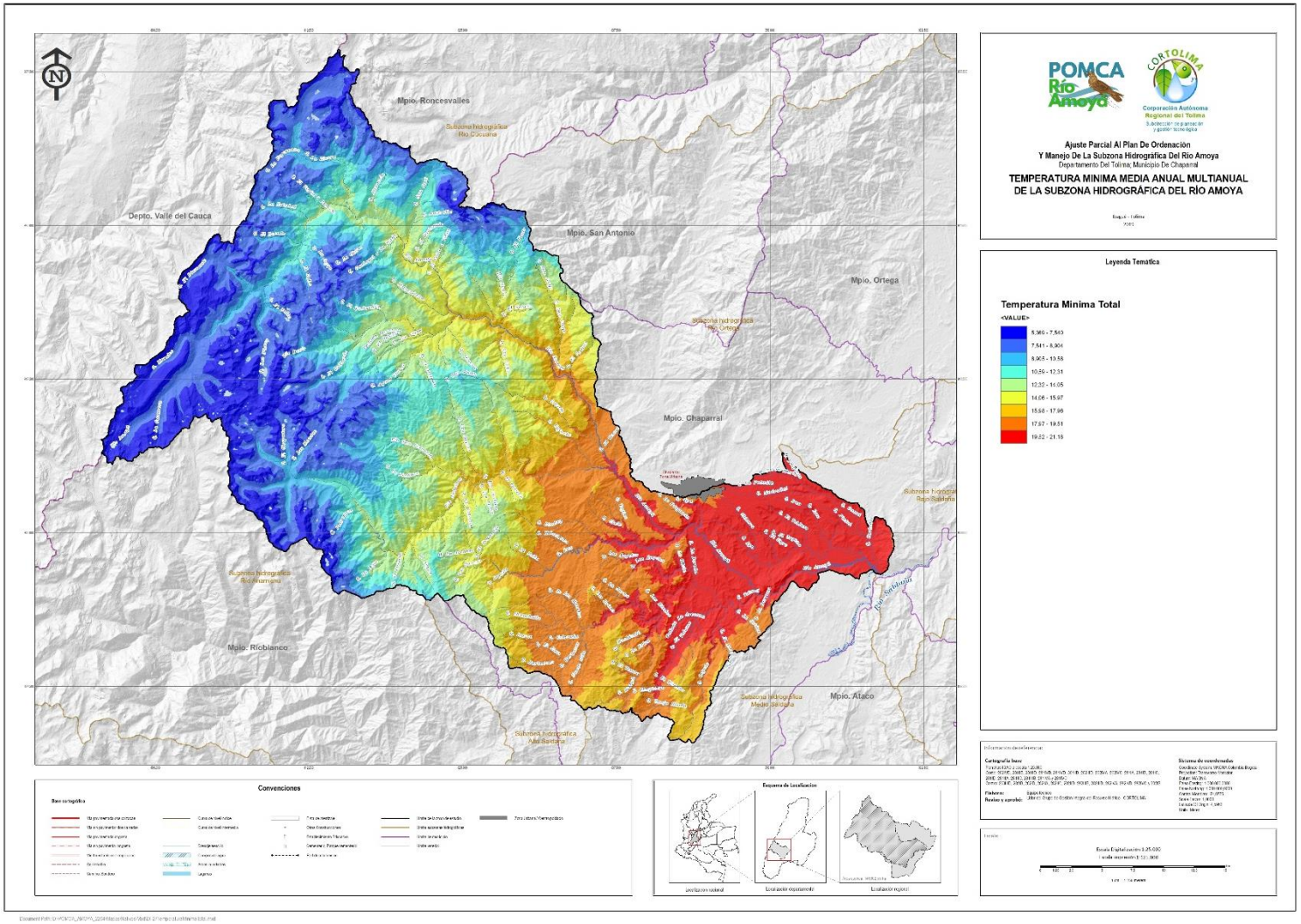
Tabla 26. Ecuaciones de gradiente altitudinal para Temperatura mínima media mensual.

Mes	Ecuación	R²
Enero	y = -0,0047x + 23,509	0,659
Febrero	y = -0,0049x + 23,815	0,662
Marzo	y = -0,004x + 22,82	0,734
Abril	y = -0,004x + 22,898	0,666
Mayo	y = -0,0041x + 23,052	0,711
Junio	y = -0,0039x + 22,834	0,647
Julio	y = -0,0044x + 23,167	0,749
Agosto	y = -0,0041x + 22,923	0,738
Septiembre	y = -0,0039x + 22,668	0,771
Octubre	y = -0,0037x + 22,197	0,723
Noviembre	y = -0,004x + 22,562	0,780
Diciembre	y = -0,0046x + 23,359	0,809
Total	y = -0,0042x + 22,984	0,720

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

En la **Figura 73** se presentan las isolíneas de temperatura mínima, donde se observa que los valores más altos se presentan al Occidente de la zona de estudio, con registros del orden de los 3,55 °C a los 21,19°C.

Figura 73. Mapa de Temperatura mínima media anual multianual.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2019.

5.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL ANUAL Y MENSUAL.

Se conoce como evapotranspiración – ET- la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo, (Allen, 2006).

- **Evaporación:** Es el proceso por el cual el agua en estado líquido se convierte a estado gaseoso (vapor de agua) y se retira de la superficie vaporante (remoción de vapor). El agua se puede evaporar de casi la totalidad de superficies existente, como: lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada, entre otras.

  Para modificar la separación molecular del estado líquido y pasarla a estado sólido se requiere gran cantidad de energía, la cual es suministrada por la radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante.

- **Transpiración:** Es el proceso por el cual se vaporiza el agua líquida contenida en los tejidos de las plantas y posteriormente es removido hacia la atmósfera. Fisiológicamente los cultivos pierden agua libre a través de los estomas, los cuales son pequeñas aberturas en la hoja de la planta por la cual atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. Este proceso inicia con la absorción del agua, junto con algunos nutrientes, por las raíces y transportada a través de la planta.

  La vaporización se desarrolla principalmente dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática, casi la totalidad del agua que es absorbida del suelo se libera por transpiración después de haber sido el medio de absorción de los nutrientes.

5.3.1 Método Empírico Utilizado Para El Cálculo De La Eto

La medición exacta de la ETo en condiciones de campo, solo puede ser estimada a través de mediciones experimentales. Estas mediciones se realizan bajo condiciones muy precisas de terreno y cultivo. Los aparatos utilizados son los lisímetros, que son tanques aislados rellenados con suelo disturbado o no disturbado en los que el cultivo crece y se desarrolla. Sin embargo, como los lisímetros son difíciles de manejar y caros de construir y además su operación y mantenimiento requiere de especial cuidado, su uso se restringe normalmente a trabajos investigativos.

Debido a las dificultades en la realización de mediciones experimentales, la ETo se calcula comúnmente con datos meteorológicos. Se han desarrollado una gran cantidad de ecuaciones empíricas o semi-empíricas para determinar la evapotranspiración del cultivo o de referencia utilizando datos meteorológicos.

En el Articulo "Estimación de la evaporación en Colombia", realizado por el Ingeniero Germán Poveda-Jaramillo, y publicado en la revista Avances en Recursos Hidráulicos, en el 2000. Se realiza la evaluación de 5 métodos empíricos, a saber:

- Ecuación de Turc.
- Método de Morton.
- Método de Penman.
- Método de Holdridge.
- Ecuación de Budyko.

Donde se determinó que el mejor método que presenta mejores estimativos para casi todo Colombia, con excepción de las regiones de alta nubosidad como en el Chocó, es la Ecuación de Turc.

5.3.2 Método De Turc

En esta metodología Turc propuso un método para el cálculo de la evapotranspiración, basado en la precipitación y la temperatura. La ecuación fue establecida empíricamente comparando las precipitaciones y la escorrentía total de 254 cuencas situadas en todos los climas de la tierra, mediante las siguientes ecuaciones:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0{,}9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Donde:

ETR: Evapotranspiración Real
P: Precipitación (mm/año)
L: Parámetro L

$$L(t) = 300 + 25t + 0{,}05t^2$$

Donde:

L: Parámetro L
t: Temperatura media mensual del Aire en °C

5.3.3 Distribución Temporal De La Evapotranspiración.

La distribución Temporal de la Evaporación real se presenta en la Tabla 27 y en la Figura 74.

5.3.4 Distribución Espacial De La Evapotranspiración.

La distribución espacial por IDW, se presenta en la Figura 74 y 75.

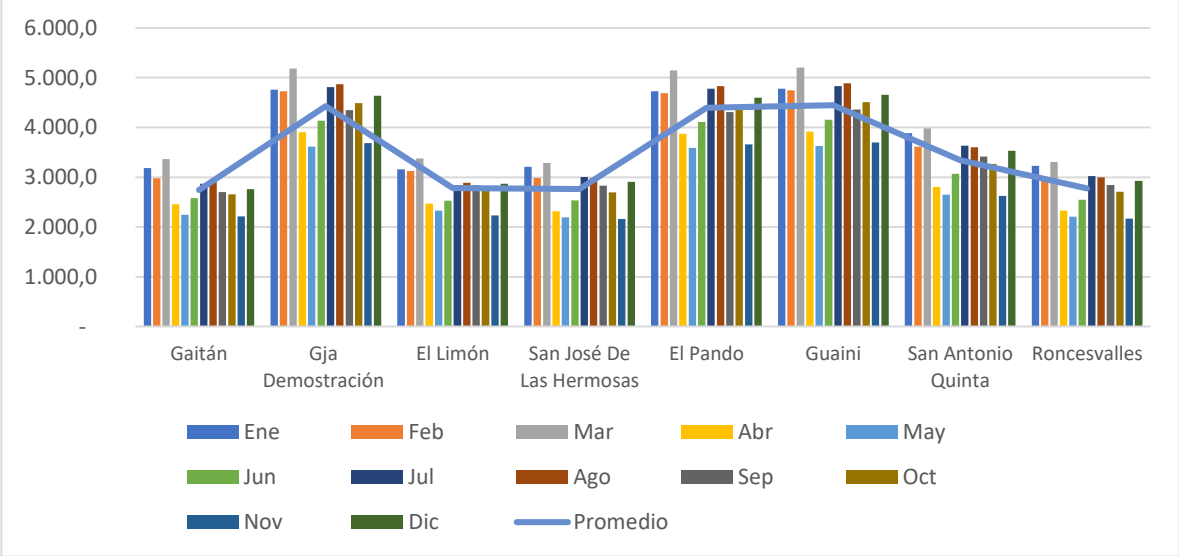
Tabla 27. Valores de Evapotranspiración Calculados por la Ecuación de Turc, para las estaciones de la Cuenca Amoyá.

Cod	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
22010070	Gaitán	3.181,1	2.978,6	3.364,2	2.456,0	2.247,6	2.580,0
22045010	Gja Demostración	4.760,9	4.726,7	5.183,2	3.903,6	3.616,4	4.138,0
22045020	El Limón	3.157,6	3.125,2	3.379,2	2.470,1	2.331,5	2.530,2
22050060	San José De Las Hermosas	3.210,2	2.985,4	3.289,0	2.315,0	2.192,9	2.536,6
22060080	El Pando	4.723,7	4.689,9	5.142,8	3.873,1	3.588,3	4.106,1
22060110	Guainí	4.778,7	4.744,3	5.202,5	3.918,1	3.629,9	4.153,2
22065040	San Antonio Quinta	3.886,0	3.611,6	3.978,9	2.801,4	2.651,7	3.067,4
22070010	Roncesvalles	3.225,7	2.999,8	3.304,8	2.326,2	2.203,5	2.548,8

Cod	Estación	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
22010070	Gaitán	2.869,5	2.901,3	2.698,7	2.657,9	2.212,1	2.762,3
22045010	Gja Demostración	4.811,4	4.868,9	4.344,7	4.488,3	3.687,0	4.635,5
22045020	El Limón	2.844,6	2.884,8	2.834,6	2.742,4	2.231,1	2.865,8
22050060	San José De Las Hermosas	3.006,8	2.983,0	2.830,1	2.697,7	2.160,7	2.909,3
22060080	El Pando	4.774,5	4.832,0	4.311,5	4.453,0	3.657,7	4.598,8
22060110	Guainí	4.829,0	4.886,6	4.360,5	4.505,1	3.701,0	4.652,9
22065040	San Antonio Quinta	3.635,7	3.601,1	3.416,1	3.267,6	2.621,8	3.528,4
22070010	Roncesvalles	3.021,3	2.997,2	2.843,5	2.710,8	2.171,3	2.923,5

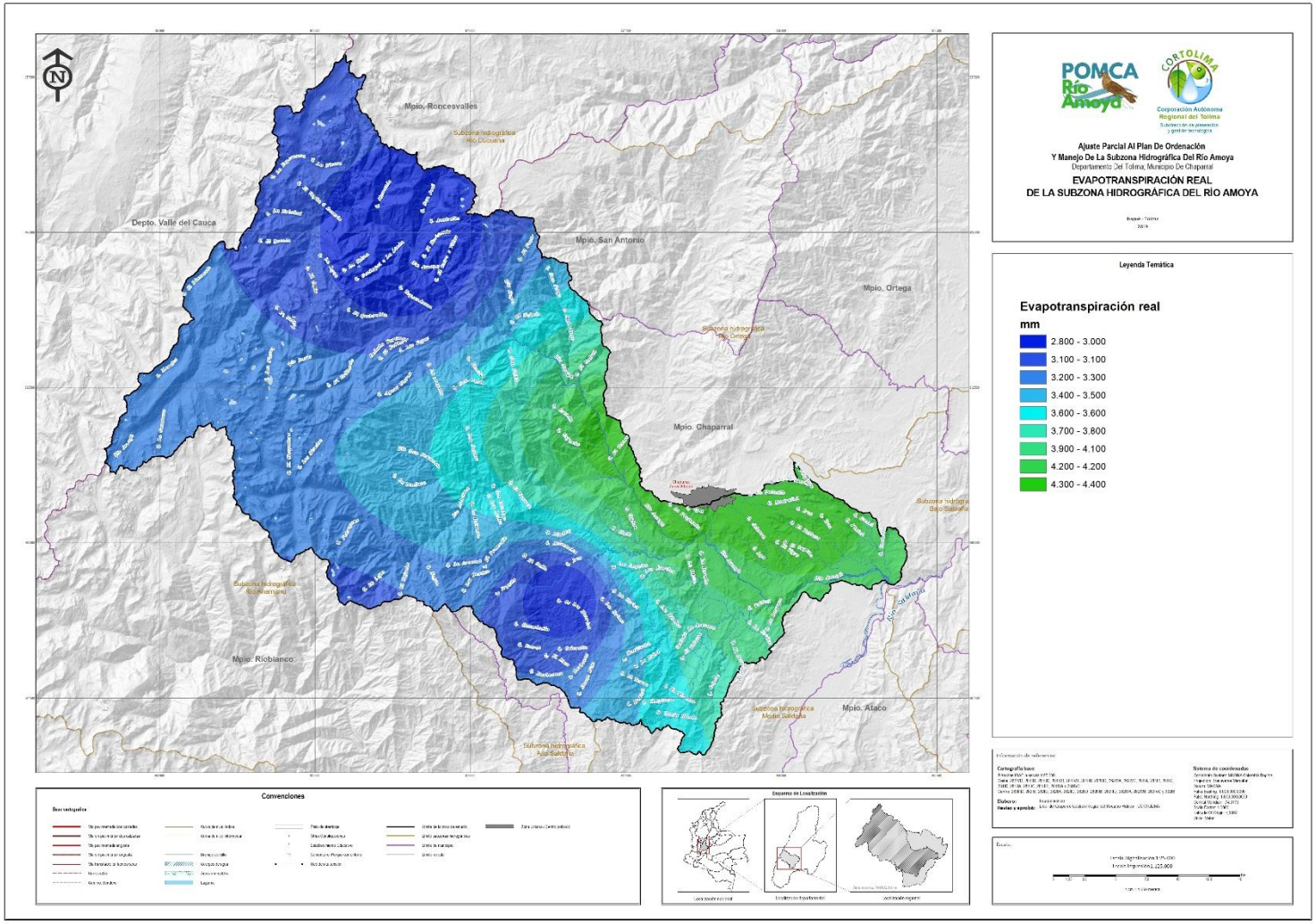
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 74. Grafica de Valores de ETR calculados por Turc



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 75. Isolíneas de ETo Calculados por la Ecuación de Turc, para la Cuenca Amoyá.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2019.

5.4 HUMEDAD RELATIVA

Es el elemento climático que indica la cantidad de vapor de agua que se encuentra presente en el aire. Depende, en parte, de la temperatura, ya que el aire caliente contiene más humedad que el frío. La humedad relativa se expresa en forma de tanto por ciento (%) de agua en el aire (Ver **Tabla 28**, **Figura 76.** Grafica de Valores de Humedad Relativa para la cuenca Amoyá.
y **Figura 77**).

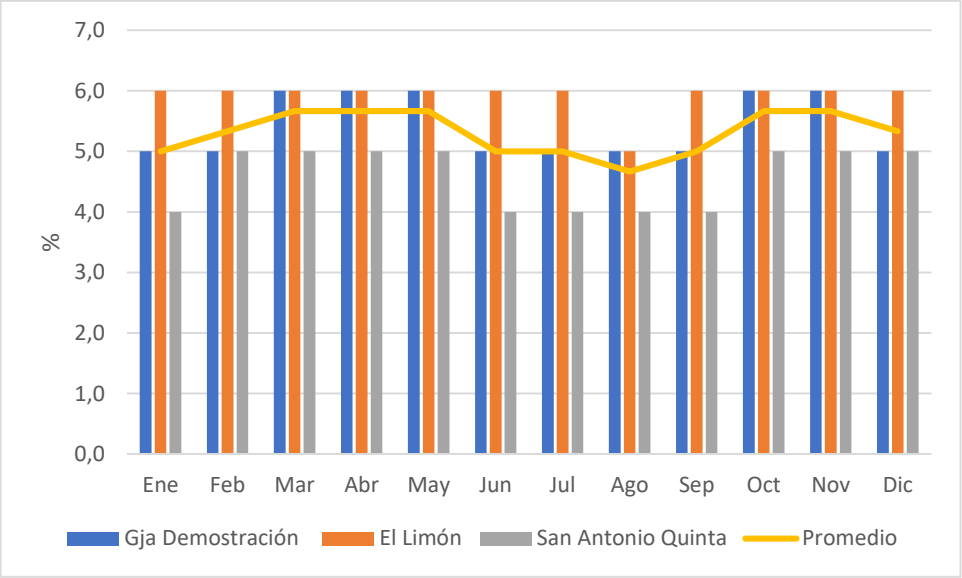
Tabla 28. Valores de Humedad Relativa para la Cuenca Amoyá

Código	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
22045010	Gja Demostración	78,50	77,58	79,11	80,19	74,92	72,59	67,86
22045020	El Limón	78,88	77,09	77,79	78,27	77,96	75,67	73,48
22065040	San Antonio Quinta	76,31	75,77	77,87	78,94	77,80	75,43	72,29
Promedio		**77,90**	**76,81**	**78,26**	**79,13**	**76,89**	**74,56**	**71,21**

Código	Estación	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
22045010	Gja Demostración	64,94	69,14	78,59	82,46	80,89	75,57
22045020	El Limón	70,38	71,63	76,22	80,17	79,75	76,44
22065040	San Antonio Quinta	69,26	69,77	77,19	80,73	79,94	849,18
Promedio		**68,19**	**70,18**	**77,33**	**81,12**	**80,19**	**333,73**

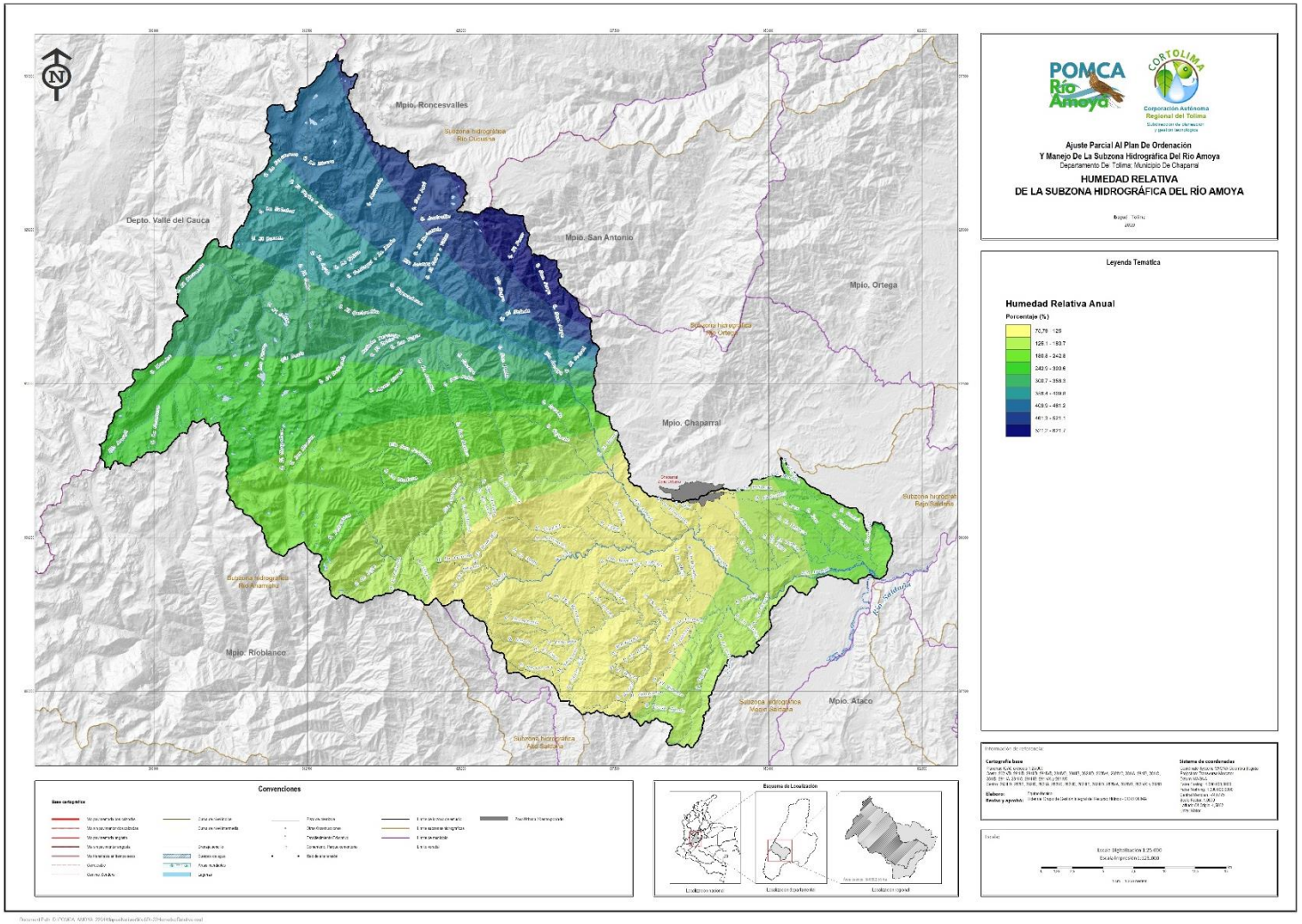
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 76. Grafica de Valores de Humedad Relativa para la cuenca Amoyá.
á.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 77. Isolíneas de Humedad Relativa para la Cuenca Amoyá



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2019.

5.5 NUBOSIDAD

El elemento nubosidad, tiene un doble efecto en el clima en función de la altura de las nubes. Así las nubes bajas provocan un enfriamiento climático, mientras que las nubes altas implican un calentamiento. Esta nubosidad fue medida en octas, medida que está en función de la fracción de la bóveda celeste que se ve cubierta de nubes (Ver **Tabla 29**, **Figura 78** y **Figura 79**)

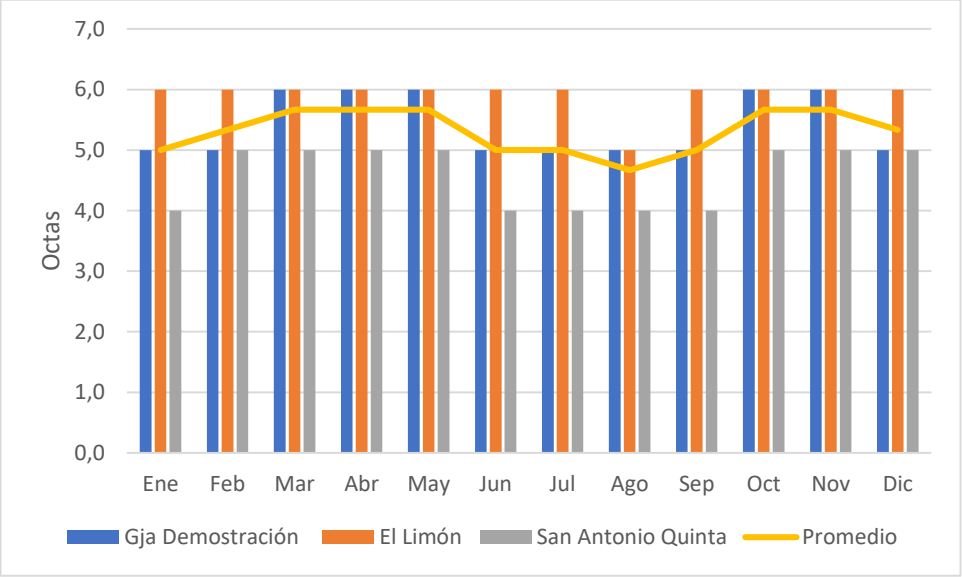
Tabla 29. Valores de Nubosidad para la Cuenca Amoyá

Código	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
22045010	Gja Demostración	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0
22045020	El Limón	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
22065040	San Antonio Quinta	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0
Promedio		**5,0**	**5,3**	**5,7**	**5,7**	**5,7**	**5,0**	**5,0**

Código	Estación	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
22045010	Gja Demostración	5,0	5,0	6,0	6,0	5,0	5,42
22045020	El Limón	5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,92
22065040	San Antonio Quinta	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0	4,58
Promedio		**4,7**	**5,0**	**5,7**	**5,7**	**5,3**	**5,31**

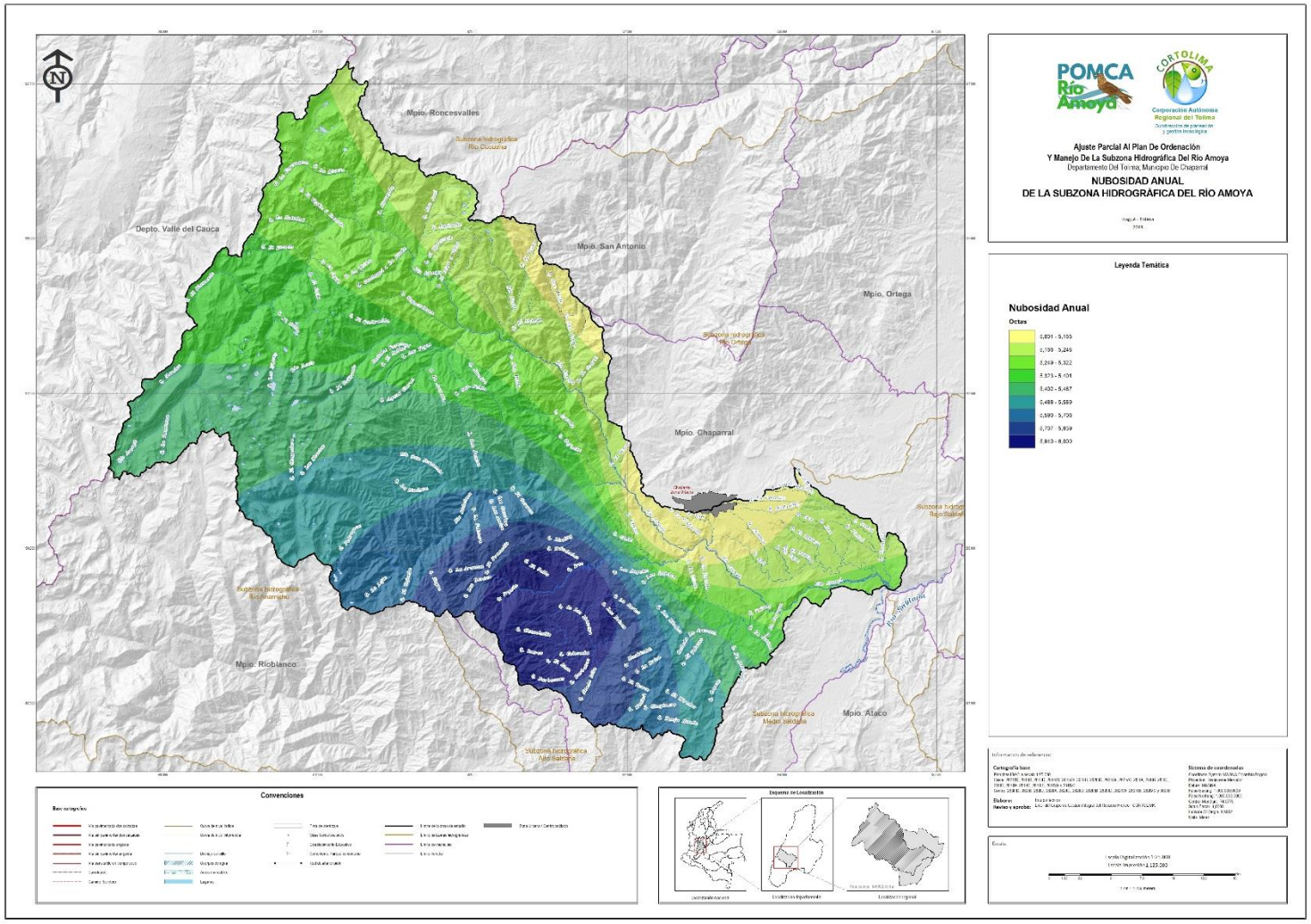
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 78. Grafica de Valores Nubosidad para la cuenca Amoyá.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 79. Isolíneas de Nubosidad para la Cuenca Amoyá



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2019.

5.6 PUNTO DE ROCIÓ

El elemento climático de punto de rocío o temperatura de rocío es la más baja temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina, cualquier tipo de nube o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha (Ver **Tabla 30**, **Figura 80** y **Figura 81**)

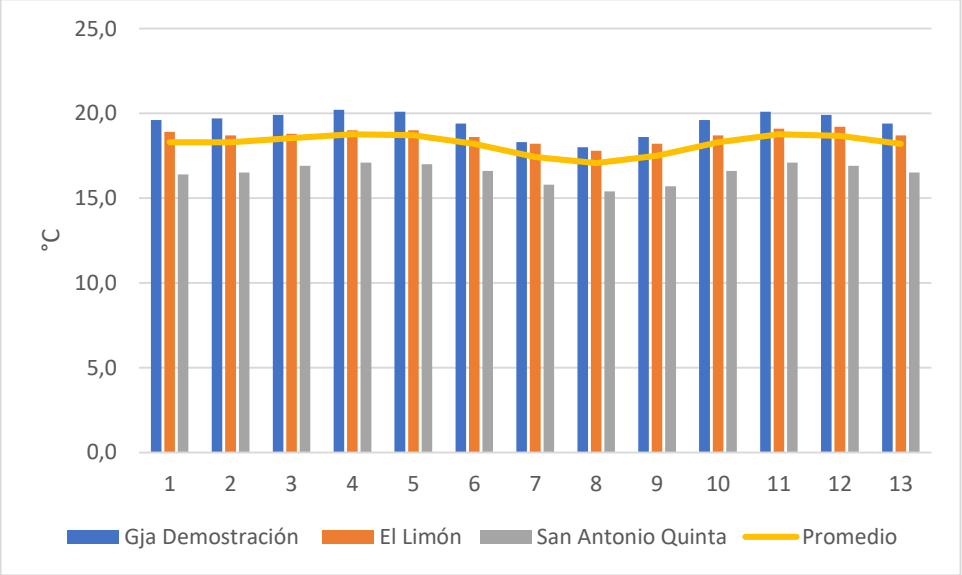
Tabla 30. Valores de Punto de Rocío para la Cuenca Amoyá

Código	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
22045010	Gja Demostración	19,6	19,7	19,9	20,2	20,1	19,4	18,3
22045020	El Limón	18,9	18,7	18,8	19,0	19,0	18,6	18,2
22065040	San Antonio Quinta	16,4	16,5	16,9	17,1	17	16,6	15,8
Promedio		**18,3**	**18,3**	**18,5**	**18,8**	**18,7**	**18,2**	**17,4**

Código	Estación	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
22045010	Gja Demostración	18,0	18,6	19,6	20,1	19,9	19,45
22045020	El Limón	17,8	18,2	18,7	19,1	19,2	18,68
22065040	San Antonio Quinta	15,4	15,7	16,6	17,1	16,9	16,50
Promedio		**17,1**	**17,5**	**18,3**	**18,8**	**18,7**	**18,21**

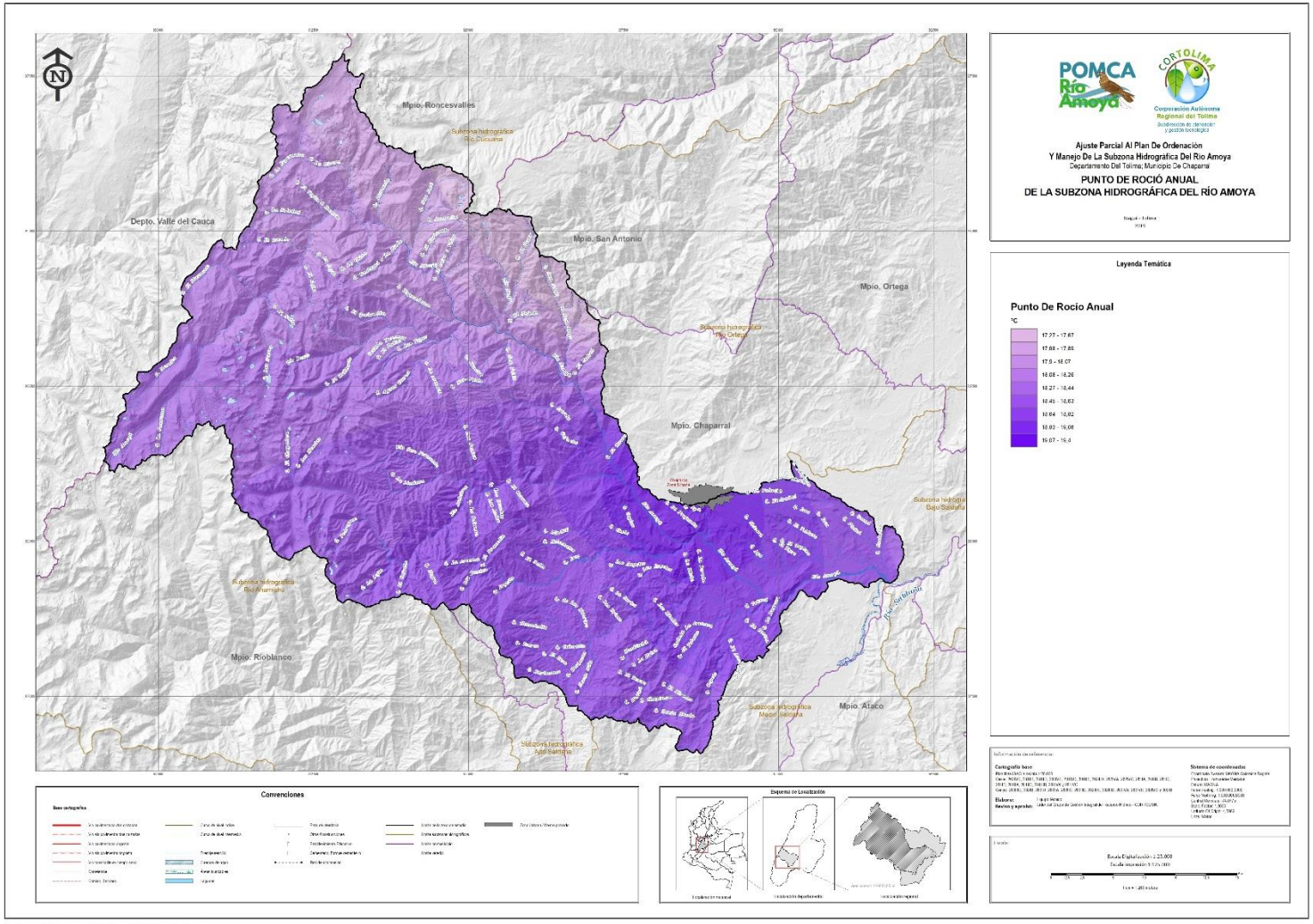
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 80. Grafica de Valores Punto de Rocío para la cuenca Amoyá.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 81. Isolíneas de Punto de Roció para la Cuenca Amoyá



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2019.

5.7 TENSIÓN DE VAPOR DE AGUA

El elemento climático de Tensión de Vapor de Agua, representa la tendencia de evaporación de agua a temperatura ambiente. (Ver **Tabla 31**, **Figura 82** y **Figura 83**)

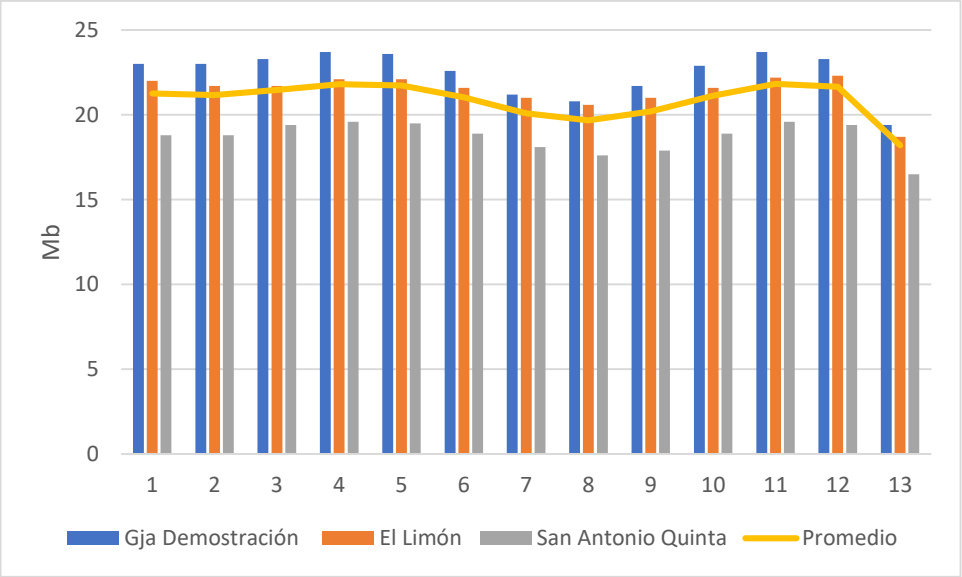
Tabla 31. Valores de Tensión de vapor de agua para la Cuenca Amoyá

Código	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
22045010	Gja Demostración	19,6	19,7	19,9	20,2	20,1	19,4	18,3
22045020	El Limón	18,9	18,7	18,8	19,0	19,0	18,6	18,2
22065040	San Antonio Quinta	16,4	16,5	16,9	17,1	17	16,6	15,8
Promedio		**18,3**	**18,3**	**18,5**	**18,8**	**18,7**	**18,2**	**17,4**

Código	Estación	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
22045010	Gja Demostración	18,0	18,6	19,6	20,1	19,9	19,45
22045020	El Limón	17,8	18,2	18,7	19,1	19,2	18,68
22065040	San Antonio Quinta	15,4	15,7	16,6	17,1	16,9	16,50
Promedio		**17,1**	**17,5**	**18,3**	**18,8**	**18,7**	**18,21**

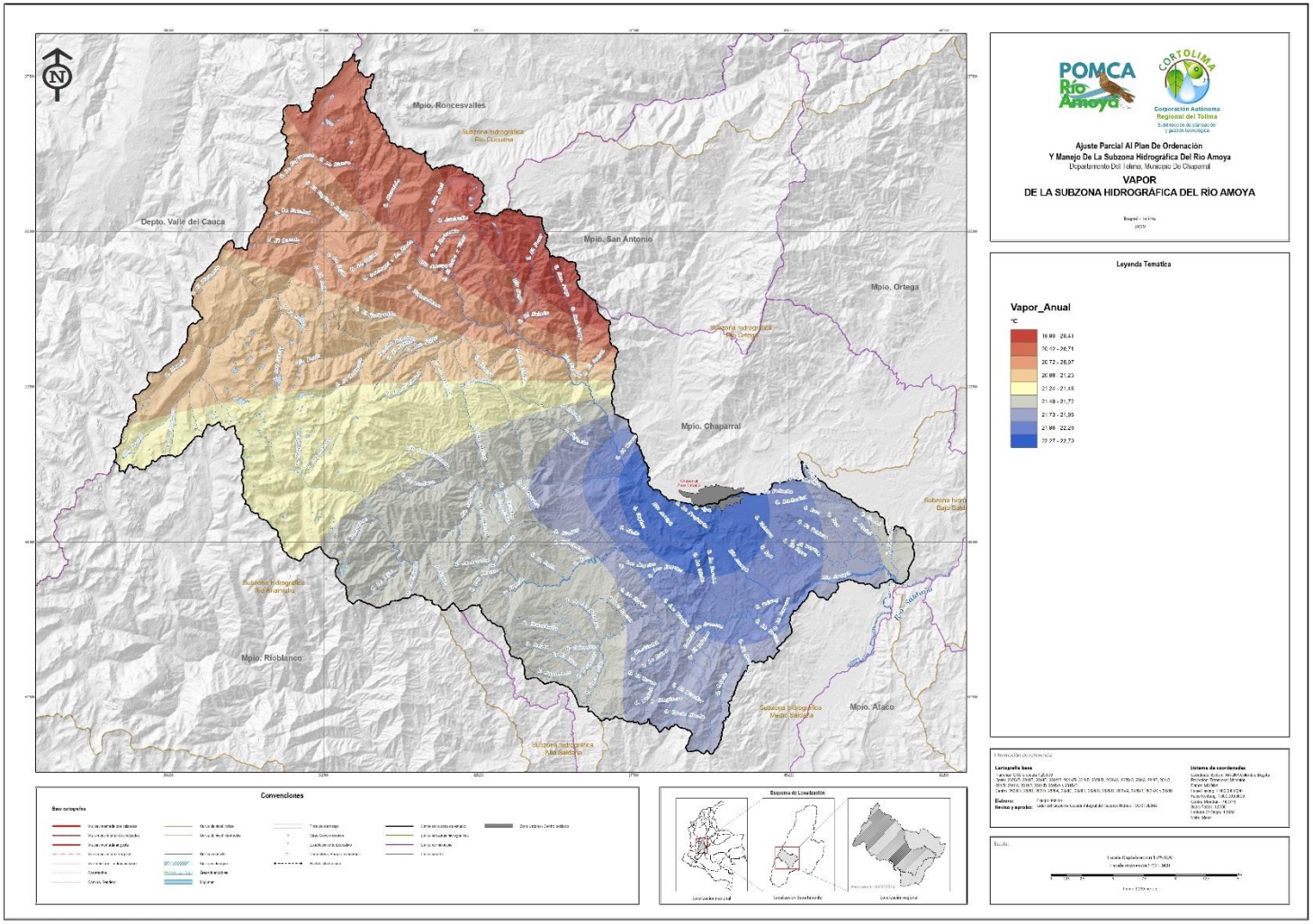
Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 82. Gráfica de Valores de Tensión de vapor de agua para la cuenca Amoyá.



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 83. Isolíneas de Tensión de vapor de agua para la Cuenca Amoyá



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2019.

5.8 RECORRIDO DEL VIENTO

El elemento climático de Recorrido del Viento, es el movimiento del aire que está presente en la atmósfera, especialmente, en la troposfera, producido por causas naturales. El recorrido del viento fue medido en kilómetros (Ver **Tabla 32** y **Figura 84**).

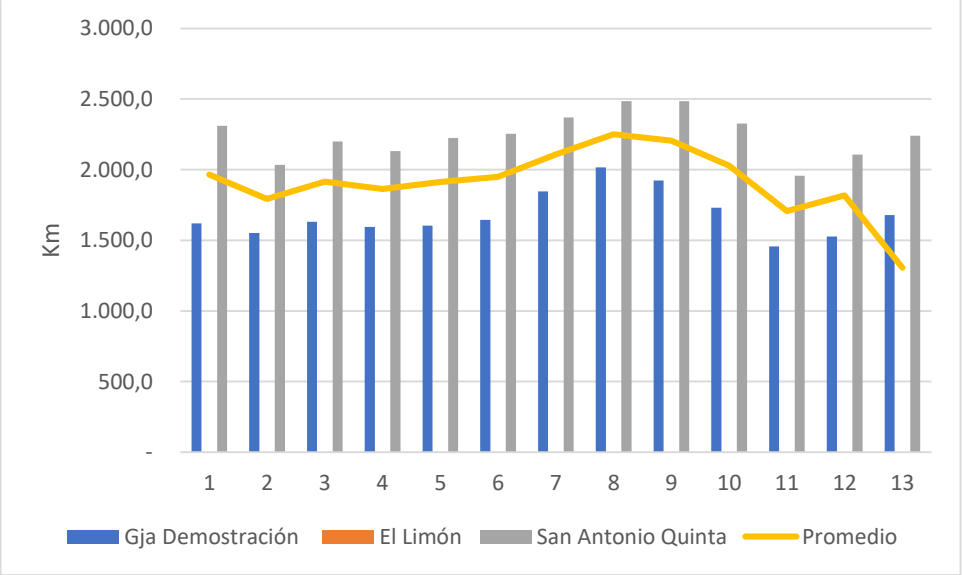
Tabla 32. Valores de Recorrido del Viento para la Cuenca Amoyá

Código	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
22045010	Gja Demostración	1.620,0	1.552,0	1.631,0	1.595,0	1.604,0	1.644,0	1.846,0
22045020	El Limón							
22065040	San Antonio Quinta	2.309,9	2.034,5	2.200,4	2.132,5	2.223,7	2.253,5	2.369,8
Promedio		**1965,0**	**1793,2**	**1915,7**	**1863,8**	**1913,9**	**1948,8**	**2107,9**

Código	Estación	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
22045010	Gja Demostración	2.017,0	1.924,0	1.730,0	1.456,0	1.527,0	1.678,83
22045020	El Limón						-
22065040	San Antonio Quinta	2.484,0	2.486,0	2.326,8	1.957,0	2.107,8	2.240,51
Promedio		**2250,5**	**2205,0**	**2028,4**	**1706,5**	**1817,4**	**1.306,45**

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 84. Grafica de Valores de Recorrido del Viento para la cuenca Amoyá.

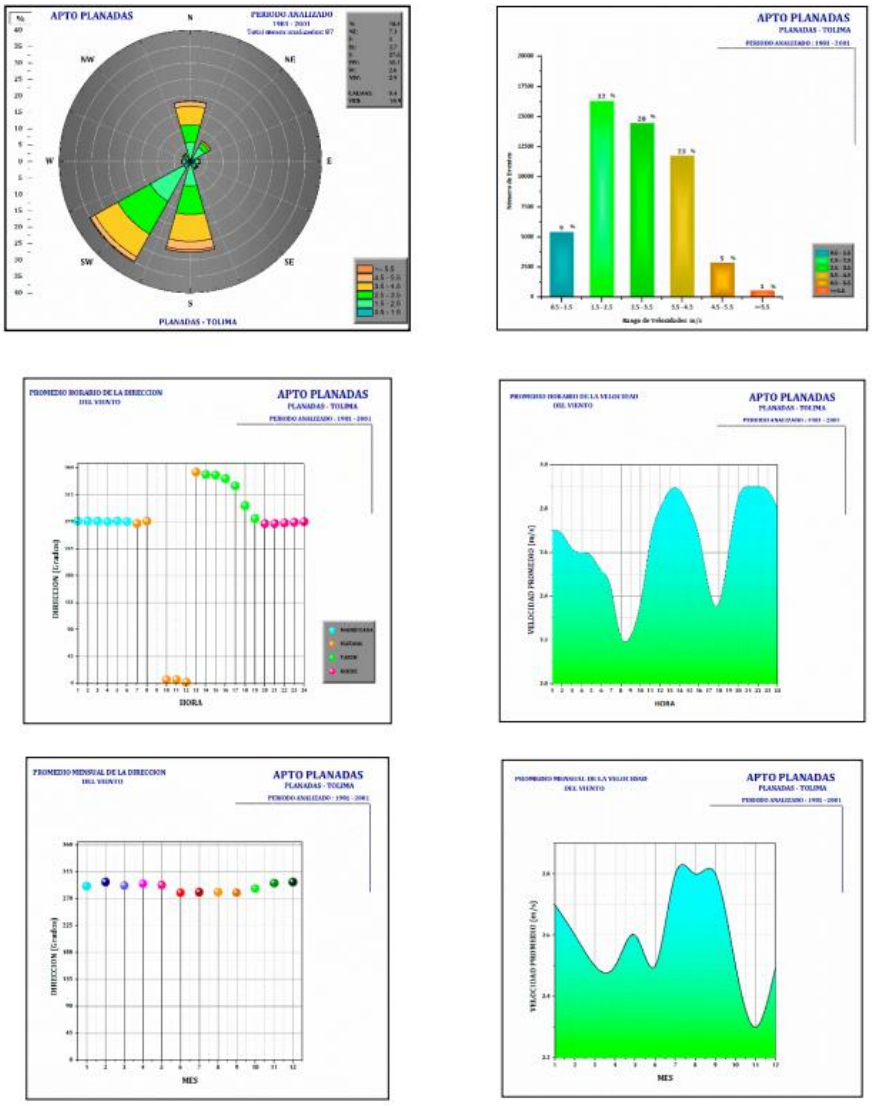


Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

El elemento viento es registrado por diferentes equipos, el instrumento más antiguo para conocer la dirección de los vientos es la veleta que, con la ayuda de la rosa de los vientos, define la procedencia de los vientos, es decir, la dirección desde donde

soplan. En la cuenca Amoyá no se registra este tipo de información, la estación climatológica más cercana que reporta esta información es la estación del Aeropuerto de Planadas (Código 22025010), como se presenta en la **Figura 85**.

Figura 85. Análisis local para la estación Aeropuerto Planadas, Tolima.



Fuente: IDEAM, 2017

6. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

La Organización Meteorológica Mundial - OMM, define el clima como “el conjunto de las condiciones atmosféricas caracterizado por los estados del tiempo en una porción determinada de espacio”. El clima se determina por el análisis espacio tiempo de los elementos que lo definen y los factores que lo afectan. El clima no se puede caracterizar con base en observaciones aisladas, es necesario disponer de informaciones históricas del comportamiento de los eventos a analizar. Un comportamiento aislado de elementos del clima no tiene ningún valor desde el punto de vista climatológico.

La climatología, ha realizado diversas caracterizaciones climáticas tanto a nivel mundial como regional, a partir del agrupamiento sistemático de los elementos del clima en clases según sus relaciones comunes; si bien todas las clasificaciones emplean diversos parámetros comunes en muchos de ellos, la dificultad reside en establecer criterios generales que resulten representativos.

Los parámetros básicos de cualquier clasificación climática son la temperatura y la precipitación y en menor grado la latitud, humedad relativa, la evaporación y el brillo solar.

Clasificación de CALDAS-LANG, es la unión de dos tipos de clasificaciones regionales y se basa en los valores de temperatura con respecto a su variación altitudinal – CALDAS, y la relación entre la precipitación y la temperatura – LANG.

6.1 COEFICIENTE DE CALDAS.

La clasificación Caldas, fue ideada por el colombiano Francisco José de Caldas en 1802, donde consideró únicamente la variación de la temperatura con la altura (pisos térmicos) y su aplicación se restringió al trópico americano. En la **Tabla 33**, se presenta la distribución establecida según los criterios de altura sobre el nivel del mar y/o sobre temperatura media anual.

Tabla 33. Clasificación de Caldas.

Piso Térmico	Rango de Altura (a.s.n.m.)	Temperatura (°C)
Cálido	0 - 1000	T > 24
Templado	1001 - 2000	24 > T > 17,5
Frío	2001 - 3000	17,5 > T > 12

Piso Térmico	Rango de Altura (a.s.n.m.)	Temperatura (°C)
Páramo Bajo	3200 - 3700	12 > T > 7
Páramo Alto	3701 - 4200	T < 7

Fuente: Schaufelberger, 1962

Las características estipuladas por Caldas para cada piso Térmico, son

- **Piso Térmico Cálido:** localizado entre 0 y 1.000 m.s.n.m., con valores superiores a 24°C y un margen de altitud en el límite superior hasta 400 m, según sea las características locales.
- **Piso Térmico Templado:** Comprende altitudes situadas entre 1.000 y 2.000 m.s.n.m., con temperaturas mayores o iguales a 17,5°C y con un margen de amplitud en sus límites superiores e inferior de 500 m.
- **Piso Térmico Frio:** se localiza entre 2.000 y 3.000 m.s.n.m. de altitud, con temperaturas no inferiores a 12°C y un margen en sus límites altitudinales superior e inferior de 400 m.
- **Piso Térmico Paramo Bajo:** Con una altitud que oscila entre 3.000 y 3.700 m.s.n.m. y que se caracteriza por estar en el intervalo de temperatura entre los 7 a los 12°C.
- **Piso Térmico Paramo Alto**: Se localiza por encima de los 3.700 y hasta los 4.200 m.s.n.m., aproximadamente; Y temperatura por debajo de los 7° C

6.2 CLASIFICACIÓN DE CALDAS EN LA CUENCA AMOYÁ.

En la cuenca en estudio se determinó que la mayor área corresponde al piso térmico – Paramo Bajo, con el 29,16% correspondiente a 42.743,48 Ha, y el piso térmico con menor área es el Páramo Alto con 4,63 Ha, equivalentes a menos del 1%. (**Tabla 34**), la distribución de los pisos térmicos se muestra en la **Figura 86**.

Tabla 34. Piso Térmico en la Cuenca del Río Amoyá

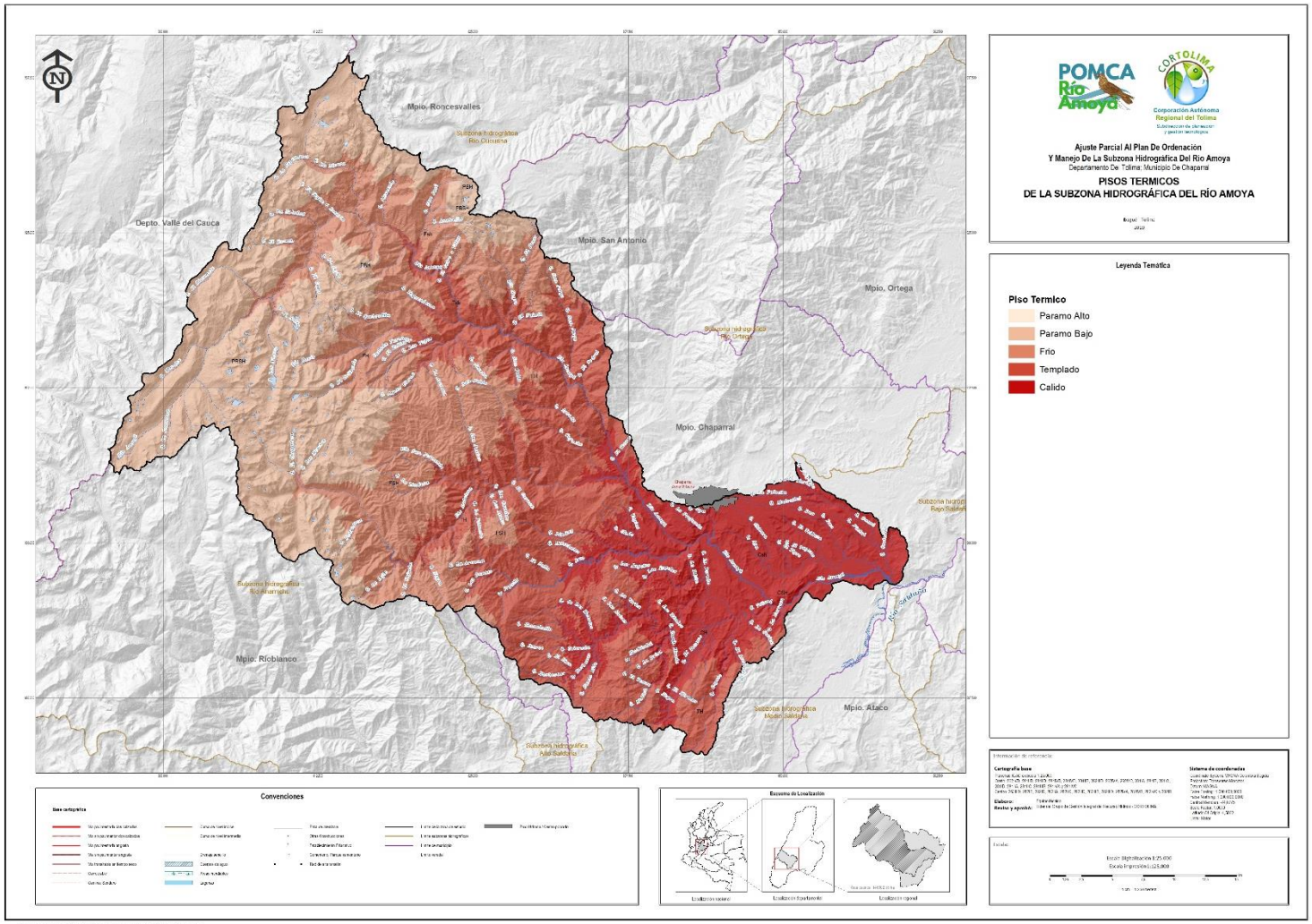
Piso Térmico	Área (m^2)	Área (Ha)	%
Cálido	283942906.11	28394.29	19.37%
Templado	397051646.35	39705.16	27.08%
Frio	357564966.41	35756.50	24.39%
Paramo Bajo	427434811.12	42743.48	29.16%
Paramo Alto	46292.80	4.63	0.00%
TOTAL	1466040622.79	146604.06	100%

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

6.3 COEFICIENTE DE LANG.

La clasificación de Lang, fue establecida por Richard Lang (1915), es una clasificación basada en el volumen de la precipitación anual (acumulada) expresada en milímetros y la temperatura promedio en grados Celsius. El cociente del primer parámetro entre el segundo es el denominado Índice de Lang Precipitación acumulada /Temperatura promedio, a partir del cual se obtienen seis tipos de clima. En la actualidad el índice se utiliza ampliamente como una medida del grado de aridez de una región, más que como un sistema de clasificación climática (Ver tabla 35).

Figura 86. Mapa de Pisos Térmico en la Cuenca del Río Amoyá



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2019.

Tabla 35. Clases Climáticas según el coeficiente de Lang

Clases de Clima	Coeficiente P/T
Desértico	0 a 20,0
Árido	20,1 a 40,0
Semiárido	40,1 a 60,0
Semihúmedo	60,1 a 100,0
Húmedo	100,1 a 160,0
Superhúmedo	Mayor a 160,0

Fuente: Schaufelberger, 1962

6.4 CLASIFICACIÓN DE CALDAS EN LA CUENCA AMOYÁ.

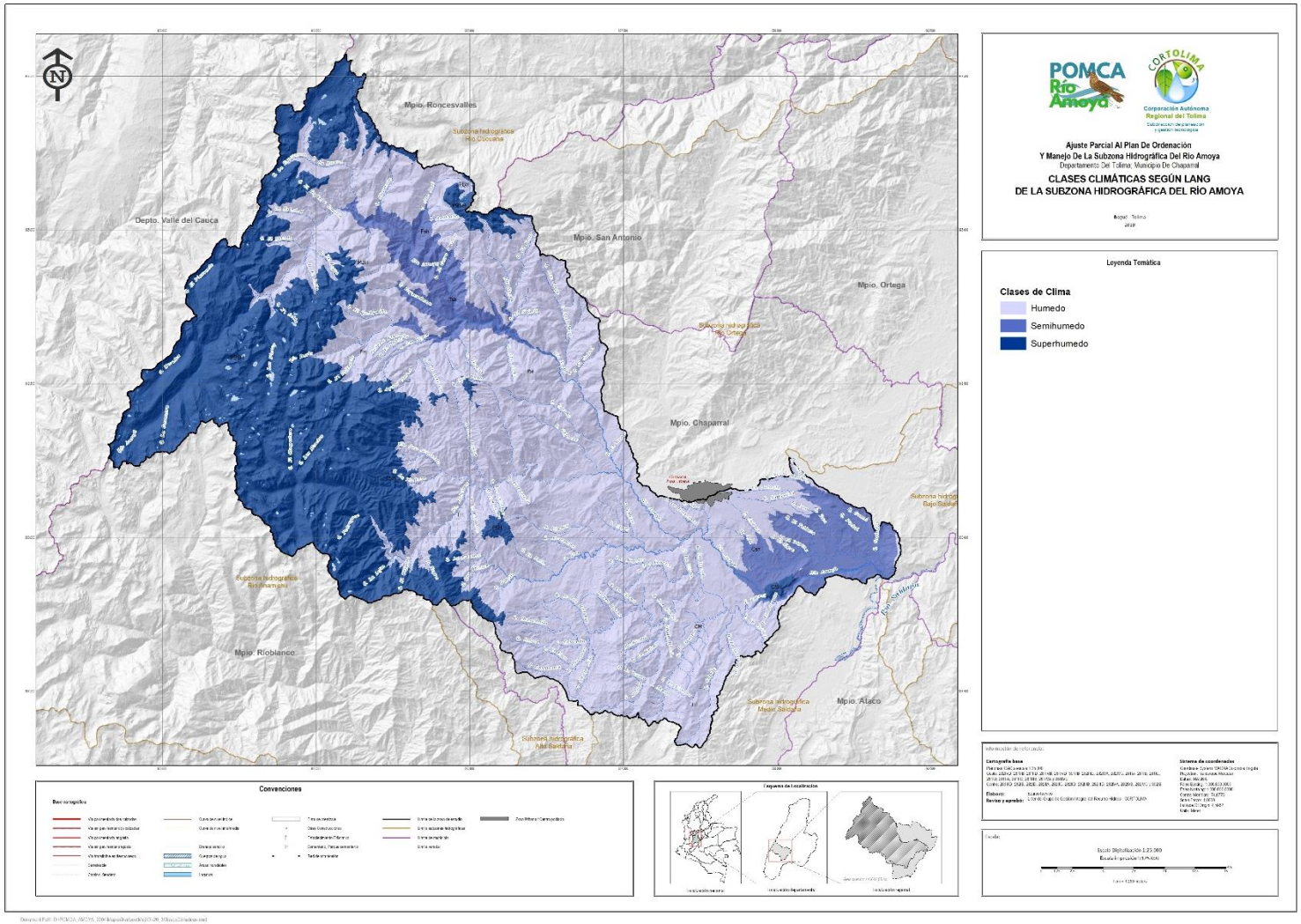
Después de calcular el coeficiente de Lang en la cuenca de Amoyá, se determinó que solo se presentan tres clases de clima, siendo el que ocupa más área el clima Húmedo con 86.307 Ha, equivalentes a casi el 59% de la cuenca, y la clase climática menos representativa es el semihúmedo con menos del 9% correspondiente a 12.594 Ha. (ver **Tabla 36**) y la especialización de su distribución se presentan en la **Figura 87**.

Tabla 36. Clases Climáticas según Lang, en la Cuenca del Río Amoyá

Clases de Clima	Área (m2)	Área (Ha)	%
Semihúmedo	125.949.051,75	12.594,91	8,59%
Húmedo	863.073.954,40	86.307,40	58,87%
Superhumedo	477.017.616,64	47.701,76	32,54%
TOTAL	1.466.040.622,79	146.604,06	100%

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2018.

Figura 87. Mapa de las Clases Climáticas según Lang, en la Cuenca del Río Amoyá



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2019.

6.5 CLASIFICACIÓN DE CALDAS-LANG EN LA CUENCA AMOYÁ.

Según lo presentado en el numeral 6.1., la clasificación establecida por Caldas aplicada al trópico americano, basado en los valores de temperatura, pero con respecto a su variación altitudinal y no latitudinal, y en el numeral 6.3., se mostró como Lang fijo los límites de su clasificación teniendo en cuenta una sencilla relación entre la precipitación y la temperatura.

Ninguno de los dos sistemas, por sí solos, tiene aplicabilidad o funcionalidad aceptables, por lo cua*l Schaufelberger* (1962) propuso su unificación e implemento el sistema de clasificación CALDAS-LANG, que por lo mismo, utiliza la variación altitudinal de la temperatura, que indica los pisos térmicos y la efectividad de la precipitación que muestra la humedad. La distribución de los climas resultantes se muestra en la **Tabla 37**.

Tabla 37. Clasificación Climática según Caldas-Lang.

No.	Climas	Símbolo	No.	Climas	Símbolo
1	Cálido Superhumedo	CSH	14	Frio Húmedo	FH
2	Cálido Húmedo	CH	15	Frio Semihúmedo	Fsh
3	Cálido Semihúmedo	Csh	16	Frio Semiárido	Fsa
4	Cálido Semiárido	Csa	17	Frio Árido	FA
5	Cálido Árido	CA	18	Frio Desértico	FD
6	Cálido Desértico	CD	19	Paramo Bajo Superhumedo	PBSH
7	Templado Superhumedo	TSH	20	Paramo Bajo Húmedo	PBH
8	Templado Húmedo	TH	21	Paramo Bajo Semihúmedo	PBsh
9	Templado Semihúmedo	Tsh	22	Paramo Bajo Semiárido	Pbsa
10	Templado Semiárido	Tsa	23	Paramo Alto Superhumedo	PASH
11	Templado Árido	TA	24	Paramo Alto Húmedo	PBH
12	Templado Desértico	TD	25	Nieves Perpetuas	NP
13	Frio Superhumedo	FSH			

Fuente: Schaufelberger, 1962

6.6 CLASIFICACIÓN DE CALDAS-LANG EN LA CUENCA AMOYÁ.

Después de realizar la unión entre las clases de Caldas y el coeficiente de Lang, se obtuvo la clasificación climática de la cuenca de Amoyá, donde se encontraron 14 clases de clima, siendo la más abundante el Páramo Bajo Superhumedo con

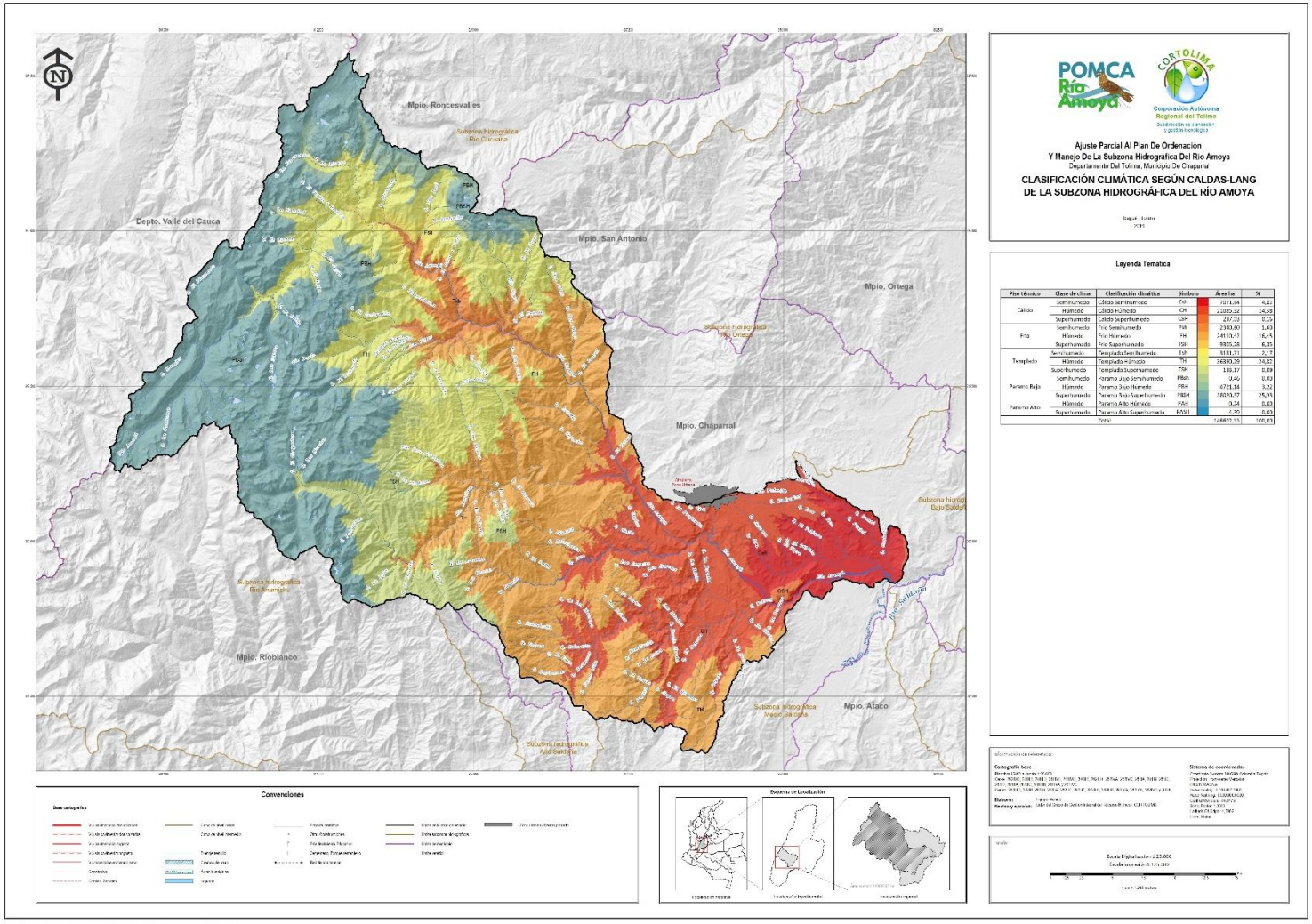
38.021,88 Ha, equivalentes a casi el 26% de la cuenca, y el tipo de climática menos representativa el Páramo Alto Húmedo con menos del 0,01% correspondiente a 2.400 m^2. (ver **Tabla 38**) y el Mapa con la distribución espacial de la cuenca, en la **Figura 88**.

Tabla 38. Clasificación Climática Caldas-Lang, para la Cuenca Amoyá

Tipo de Clima	Área (m2)	Área (Ha)	%
Cálido Superhumedo	2370324.80	237.03	0.16%
Cálido Húmedo	210853193.47	21085.32	14.38%
Cálido Semihúmedo	70719387.84	7071.94	4.82%
Templado Superhumedo	1331716.39	133.17	0.09%
Templado Húmedo	363902865.26	36390.29	24.82%
Templado Semihúmedo	31817064.70	3181.71	2.17%
Frio Superhumedo	93052818.22	9305.28	6.35%
Frio Húmedo	241104151.73	24110.42	16.45%
Frio Semihúmedo	23407996.46	2340.80	1.60%
Paramo Bajo Superhumedo	380218829.50	38021.88	25.94%
Paramo Bajo Húmedo	47211378.88	4721.14	3.22%
Paramo Bajo Semihúmedo	4602.75	0.46	0.00%
Paramo Alto Superhumedo	43927.74	4.39	0.00%
Paramo Alto Húmedo	2365.06	0.24	0.00%
TOTAL	1466040622.79	14604.06	100%

Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2019.

Figura 88. Mapa de Clasificación Climática según Caldas-Lang, en la Cuenca del Río Amoyá



Fuente: Gestión Integral del Recurso Hídrico, GIRH – CORTOLIMA 2019.

7. BIBLIOGRAFÍA

Allen, R. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Vol. 56).* Food & Agriculture Org.

Bocanegra, M., Edgar, J., & Caicedo, J. (2000). a variabilidad climática interanual asociada al ciclo El Niño-La Niña-Oscilación del Sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*, 7-21.

Cold & Warm Episodes by Season. (1 de 5 de 2018). Obtenido de National Centers for Environmental Prediction: http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

IDEAM. (2017). *Atla de viento de Colombia.* Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

OMM. (2011). *Guía de prácticas climatológicas.* Suiza: Organización Meteorológica Mundial - OMM.

Pabon, D., & Montealegre, E. (1997). Probabilidad de afectación de la precipitación en Colombia por el fenómeno La Niña. *Nota Técnica IDEAM - METEO/ 008 - 98:*, 1 - 16.

Schaufelberger, P. (1962). *Apuntes geológicos y pedológicos de la zona cafetera de Colombia: genética y clasificación de los suelos tropicales.* Chinchina (Caldas-Colombia) : Cenicafe. Obtenido de Metodología de Zonificación Ambiental de Cuencas Hidrográficas (Propuesta).

Tierra, A. N. (1 de 5 de 2018). *windows2universe*. Obtenido de EL Niño-Oscilación del Sur (ENSO): https://www.windows2universe.org/earth/climate/enso.html&edu=high&lang=sp

UNESCO. (2006). *Balance hídrico integrado y dinámico de El Salvador.* Uruguay: Documentos Técnicos del PHI-LAC.